



TUGAS AKHIR - SM 141501

**PREDIKSI KECEPATAN ANGIN DAN KETINGGIAN
GELOMBANG PADA CUACA MARITIM
MENGUNAKAN METODE ARIMA BOX JENKINS -
FILTER KALMAN**

RIZKY BUDIATI WAHYUNINGTYAS
NRP 1211 100 082

Dosen Pembimbing
Prof. DR. Erna Apriliani, M.Si
Dra. Nuri Wahyuningsih, M.Kes

JURUSAN MATEMATIKA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - SM 141501

PREDICTION OF WIND SPEED AND WAVE HEIGHT IN MARITIME WEATHER USING ARIMA BOX JENKINS - KALMAN FILTER METHOD

RIZKY BUDIATI WAHYUNINGTYAS
NRP 1211 100 082

Supervisors
Prof. DR. Erna Apriliani, M.Si
Dra. Nuri Wahyuningsih, M.Kes

DEPARTMENT OF MATHEMATICS
Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

LEMBAR PENGESAHAN

PREDIKSI KECEPATAN ANGIN DAN KETINGGIAN GELOMBANG PADA CUACA MARITIM MENGUNAKAN METODE ARIMA BOX JENKINS – FILTER KALMAN

PREDICTION OF WIND SPEED AND WAVE HEIGHT IN MARITIME WEATHER USING ARIMA BOX JENKINS – KALMAN FILTER METHOD

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada Bidang Studi Matematika Terapan
Program Studi S-1 Jurusan Matematika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

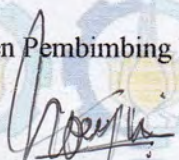
Oleh :

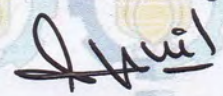
RIZKY BUDIATI WAHYUNINGTYAS
NRP. 1211 100 082

Menyetujui,


Dosen Pembimbing II

Dosen Pembimbing I


Dra. Nuri Wahyuningsih, M.Kes
NIP. 19650220 198903 2 002


Prof. Dr. Erna Apriliani, M.Si
NIP. 19660414 199102 2 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika FMIPA ITS


Prof. Dr. Erna Apriliani, M.Si
NIP. 19660414 199102 2 001

Surabaya, Januari 2015



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Prediksi Kecepatan Angin dan Ketinggian Gelombang pada Cuaca Maritim Menggunakan Metode ARIMA Box Jenkins – Filter Kalman”**. Tugas Akhir ini disusun sebagai persyaratan akademis dalam menyelesaikan Program Studi S-1 Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Tugas Akhir ini dapat diselesaikan berkat kerjasama, bantuan, dan dukungan dari banyak pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ibu Prof. Dr. Erna Apriliani, M.Si selaku Ketua Jurusan Matematika FMIPA ITS dan dosen pembimbing pertama Tugas Akhir atas segala bimbingan dan motivasi yang telah diberikan kepada penulis.
2. Ibu Dra. Nuri Wahyuningsih, M.Kes sebagai dosen pembimbing kedua Tugas Akhir atas segala bimbingan dan motivasi yang telah diberikan kepada penulis.
3. Ibu Dian Winda Setyawati, S.Si, M.Si, Dr. Mardlijah, M.T., dan Endah Rokhmah M.P. MT, Ph.D. selaku dosen penguji.
4. Bapak Drs. Chairul Imron, MI.Komp selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Matematika FMIPA ITS.
5. Bapak Drs. Sadjidon, M.Si selaku dosen wali penulis yang telah memberikan arahan akademik selama penulis menempuh pendidikan di Jurusan Matematika FMIPA ITS.
6. Ibu Intan Paramajanti beserta seluruh *staff* BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) Stasiun Meteorologi kelas II Maritim Perak II Surabaya yang membantu penulis untuk mendapatkan data kecepatan angin dan tinggi gelombang.
7. Bapak dan Ibu dosen serta seluruh *staff* Tata Usaha dan Laboratorium Jurusan Matematika FMIPA-ITS.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik dari pembaca. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pihak yang berkepentingan.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

Special thank's to:

Keberhasilan dalam penulisan Tugas Akhir ini tidak lepas dari orang-orang terdekat penulis. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

- Allah SWT atas petunjuk dan pertolongan-Nya dalam setiap langkah untuk penyelesaian Tugas Akhir ini.
- Nabi Muhammad SAW, semoga shalawat serta salam tetap tercurahkan kepada Beliau.
- Papaku, Drs. Ruddy Junanto, dan mamaku, Mardiyah, S.H., yang selalu mendukungku baik secara moril, materi maupun motivasi yang tiada henti.
- Adikku, Rizna Fitriyanti Putri Ruddyansyah, yang selalu memberiku semangat dan dukungan setiap waktu.
- Keluarga besar yang senantiasa memberikan doa dan dukungan agar mampu mengerjakan Tugas Akhir dengan baik.
- Dua hamsterku yang paling unyu, Ba dan Yi. Selalu berhasil menghiburku dengan segala tingkah lakunya.
- Om Asep yang bersedia mengantarkan aku kemanapun di saat mama dan papa tidak bisa mengantar.
- Mas Tomy yang telah mengizinkanku untuk meneruskan Tugas Akhirnya serta membantu belajar Filter Kalman dan memahami maksud Tugas Akhirnya.
- Mbak Meyta yang telah membantu dalam belajar ARIMA serta memberikan tips-tips dalam sidang akhir.
- Mas Luthfi yang membantu penulis untuk belajar menghitung waktu komputasi.
- Anin, Zain, Sari, dan Anisa. Sahabat-sahabat terbaik sejak aku menginjakkan kaki di kampus ini. Cepet nyusul ya.
- Kak Ega, Hasna, Habib, dan Dona, teman-teman satu dosen waliku. Terima kasih ya atas bantuannya selama FRS-an. Capek bareng-bareng naik turun lantai 4.
- Yeye, Ika, Kak Selly, Sahara, dan semua teman-teman angkatan 2011 Matematika ITS. Terima kasih atas doa, bantuan, dan kebersamaan yang telah kalian berikan. Kalian adalah saudara-saudara terbaikku.

- Nuril, Risa, Elli, Nilam, Marmel, Zam, Andika, Ade Novita, Muna, Caca, Mbak Nadia, Mas Andi, Mas Adji, dan teman - teman seperjuangan 111. Terima kasih atas bantuan yang kalian berikan. Suka duka telah kita lalui, semoga kesuksesan selalu menghampiri kita semua.
- Teman-teman SMA-ku, Percepatan 2009, yang selalu mengerti dan memahamiku. Maaf atas ketidakhadiranku di beberapa pertemuan karena pengerjaan Tugas Akhir ini.
- Teman-teman HIMATIKA ITS atas pengalaman dan pembelajaran yang diberikan.
- Semua pihak yang telah mendukung pengerjaan Tugas Akhir ini. Sungguh ucapan tak cukup untuk menggambarkan betapa berterima kasihnya aku atas semua bantuan yang telah kalian berikan. Semoga Allah membalas kebaikan kalian semua. Aamiin...

**PREDICTION OF WIND SPEED AND WAVE HEIGHT IN
MARITIME WEATHER USING ARIMA BOX JENKINS –
KALMAN FILTER METHOD**

Name : RIZKY BUDIATI WAHYUNINGTYAS
NRP : 1211 100 082
Department : Mathematics
Supervisor : 1. Prof. DR. Erna Apriliani, M.Si
2. Dra. Nuri Wahyuningsih, M.Kes

Abstract

Characteristic of weather and climate in Indonesia is influenced by sea condition, as sea is the majority region. Wind speed and wave height are the most frightening factor for the sailing ship or boat. So, wind speed and wave height are important to be predicted. ARIMA is one of the method for forecasting. This research use ARIMA method to predict wind speed and high waves value in univariate. EvIEWS 6 and Minitab 15 are used for forecasting. After getting the appropriate ARIMA model and prediction for 62 days, Kalman Filter is applied Kalman Filter with first, second, and third polynomial degrees. Kalman Filter algorithm is used to improve the results of ARIMA prediction. These simulations use Matlab software. The final results show that Kalman Filter is suitable to improve ARIMA prediction, which is shown by smaller MAPE. Although Kalman Filter with $n = 4$ has the best result to improve ARIMA prediction with smaller MAPE, it has bigger CPU time than $n = 2$ and $n = 3$.

Keywords : ARIMA Box Jenkins, Kalman Filter, polynomial degrees

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PREDIKSI KECEPATAN ANGIN DAN KETINGGIAN GELOMBANG PADA CUACA MARITIM MENGUNAKAN METODE ARIMA BOX JENKINS – FILTER KALMAN

Nama Mahasiswa : RIZKY BUDIATI WAHYUNINGTYAS
NRP : 1211 100 082
Jurusan : Matematika
Dosen Pembimbing : 1. Prof. DR. Erna Apriliani, M.Si
2. Dra. Nuri Wahyuningsih, M.Kes

Abstrak

Karakteristik cuaca dan iklim di Indonesia sangat dipengaruhi kondisi lautan, dimana laut merupakan bagian mayoritas dari wilayah Indonesia. Dari unsur-unsur cuaca maritim, yang paling ditakuti bagi pelayaran adalah kencangnya angin dan tinggi gelombang. Sehingga kedua parameter tersebut menjadi hal yang penting untuk diprediksi dalam pelayaran. Metode ARIMA merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk prediksi. Penelitian ini menggunakan metode ARIMA untuk memprediksi nilai kecepatan angin dan tinggi gelombang secara univariat. Software peramalan menggunakan EvIEWS 6 dan Minitab 15. Setelah memperoleh model yang sesuai dan meramalkan untuk 62 hari ke depan, diterapkan Filter Kalman dengan pengambilan polinomial derajat kesatu, dua, dan tiga untuk memperbaiki hasil prediksi ARIMA. Simulasi ini menggunakan Matlab. Hasil akhir menunjukkan bahwa Filter Kalman terbukti mampu memperbaiki hasil prediksi ARIMA, ditunjukkan dengan nilai MAPE yang lebih kecil. Meskipun Filter Kalman dengan $n = 4$ memiliki hasil perbaikan prediksi ARIMA yang paling baik, namun ketika dihitung waktu komputasinya lebih besar dibandingkan saat $n = 2$ dan $n = 3$.

Kata Kunci : ARIMA, Filter Kalman, polinomial derajat

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>.....	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxiii
DAFTAR NOTASI	xxv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>Time Series</i>	7
2.1.1 Stasioneritas	7
2.1.2 Model ARIMA	8
2.1.3 Prosedur ARIMA Box-Jenkins.....	10
2.2 Metode Filter Kalman	15
2.3 Model Matematika	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Studi Literatur	21
3.2 Pengumpulan dan Analisis Data	21
3.3 Analisis Model dan Peramalan Data dengan Metode ARIMA Box Jenkins	21
3.4 Implementasi Metode Filter Kalman dan Simulasi dengan Matlab.....	22

3.5 Penarikan Kesimpulan.....	22
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisis Model dan Peramalan	25
4.1.1 Analisis Model dan Peramalan Data Kecepatan Angin	25
4.1.2 Analisis Model dan Peramalan Data Tinggi Gelombang	36
4.2 Penerapan Metode Filter Kalman dengan <i>Software</i> Matlab	48
4.3 Simulasi dan Analisis Simulasi pada Data Kecepatan Angin	51
4.3.1 Simulasi Data Kecepatan Angin dengan Filter Kalman $n = 2$	51
4.3.2 Simulasi Data Kecepatan Angin dengan Filter Kalman $n = 3$	57
4.3.3 Simulasi Data Kecepatan Angin dengan Filter Kalman $n = 4$	58
4.4 Simulasi dan Analisis Simulasi pada Data Tinggi Gelombang	67
4.4.1 Simulasi Data Tinggi Gelombang dengan Filter Kalman $n = 2$	67
4.4.2 Simulasi Data Tinggi Gelombang dengan Filter Kalman $n = 3$	72
4.4.3 Simulasi Data Tinggi Gelombang dengan Filter Kalman $n = 4$	77
4.5 Akurasi Hasil Prediksi ARIMA dan Filter Kalman.....	82
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	87
5.2 Saran	87
DAFTAR PUSTAKA	89
LAMPIRAN	91

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2.1 Transformasi Box Cox.....	8
Tabel 4.1 Estimasi Parameter Model ARIMA ([2,6],1,[2,3])	29
Tabel 4.2 Uji Asumsi Residual <i>White Noise</i> ARIMA ([2,6],1,[2,3])	32
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Estimasi Parameter.....	34
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Asumsi Residual <i>White Noise</i> dan Berdistribusi Normal serta nilai AIC dan SBC.....	35
Tabel 4.5 Estimasi Parameter Model ARIMA(2,1,3) Kecepatan Angin.....	40
Tabel 4.6 Uji Asumsi Residual <i>White Noise</i> ARIMA (2,1,3)	44
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Estimasi Parameter.....	46
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Asumsi Residual <i>White Noise</i> dan Berdistribusi Normal serta nilai AIC dan SBC.....	47
Tabel 4.9 Perhitungan MAPE Pada Prediksi ARIMA	82
Tabel 4.10 Perhitungan MAPE Pada Simulasi Filter Kalman Data Kecepatan Angin	83
Tabel 4.11 Perhitungan MAPE Pada Simulasi Filter Kalman Data Tinggi Gelombang	84
Tabel 4.12 Lama Waktu Komputasi	85

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 3.1	Diagram Alir Metodologi Penelitian 23
Gambar 4.1	Plot Box-Cox Data Kecepatan Angin..... 26
Gambar 4.2	Plot <i>Time Series</i> Data Kecepatan Angin..... 26
Gambar 4.3	Plot <i>Time Series</i> Data Hasil Differencing.... 27
Gambar 4.4	Plot ACF Hasil <i>Differencing</i> Data Kecepatan Angin..... 28
Gambar 4.5	Plot PACF Hasil <i>Differencing</i> Data Kecepatan Angin..... 28
Gambar 4.6	Uji Normalitas Residual Model ARIMA ([2,6],1,[2,3]) 33
Gambar 4.7	Plot Box-Cox Data Tinggi Gelombang 37
Gambar 4.8	Plot Box-Cox Data Tinggi Gelombang Hasil Transformasi..... 37
Gambar 4.9	Plot <i>Time Series</i> Data Hasil Transformasi.... 38
Gambar 4.10	Plot <i>Time Series</i> Data Hasil Differencing 39
Gambar 4.11	Plot ACF Data Hasil Differencing 39
Gambar 4.12	Plot PACF Data Hasil Differencing..... 40
Gambar 4.13	Uji Normalitas Residual Model ARIMA (2,1,3) 45
Gambar 4.14	Hasil Simulasi Kecepatan Angin pada Filter Kalman $n = 2$ dengan $\hat{x}_0 = [-15.65 \quad 15.65]^T$ dan (a) $Q = 0.01$, $R = 0.01$ (b) $Q = 0.01, R = 1$ 52
Gambar 4.15	Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Kecepatan Angin menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 2$ dengan $\hat{x}_0 = [-15.65 \quad 15.65]^T$ dan (a) $Q = 0.01$, $R = 0.01$ (b) $Q = 0.01, R = 1$ 53
Gambar 4.16	Hasil Simulasi Kecepatan Angin pada Filter Kalman $n = 2$ dengan $\hat{x}_0 = [-15.65 \quad 15.65]^T$ dan (a) $Q = 1$, $R = 0.01$ (b) $Q = 1, R = 1$ 55

Gambar 4.17	Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Kecepatan Angin menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 2$ dengan $\hat{x}_0 = [-15.65 \ 15.65]^T$ dan (a) $Q = 1, R = 0.01$ (b) $Q = 1, R = 1$	56
Gambar 4.18	Hasil Simulasi Kecepatan Angin pada Filter Kalman $n = 3$ dengan $\hat{x}_0 = [-15.65 \ 15.65 \ -15.65]^T$ dan (a) $Q = 0.01, R = 0.01$ (b) $Q = 0.01, R = 1$	59
Gambar 4.19	Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Kecepatan Angin menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 3$ dengan $\hat{x}_0 = [-15.65 \ 15.65 \ -15.65]^T$ dan (a) $Q = 0.01, R = 0.01$ (b) $Q = 0.01, R = 1$	60
Gambar 4.20	Hasil Simulasi Kecepatan Angin pada Filter Kalman $n = 3$ dengan $\hat{x}_0 = [-15.65 \ 15.65 \ -15.65]^T$ dan (a) $Q = 1, R = 0.01$ (b) $Q = 1, R = 1$	61
Gambar 4.21	Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Kecepatan Angin menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 3$ dengan $\hat{x}_0 = [-15.65 \ 15.65 \ -15.65]^T$ dan (a) $Q = 1, R = 0.01$ (b) $Q = 1, R = 1$	62
Gambar 4.22	Hasil Simulasi Kecepatan Angin pada Filter Kalman $n = 4$ dengan $\hat{x}_0 = [-15.65 \ 15.65 \ -15.65 \ 15.65]^T$ dan (a) $Q = 0.01, R = 0.01$ (b) $Q = 0.01, R = 1$...	63
Gambar 4.23	Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Kecepatan Angin menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 4$ dengan $\hat{x}_0 = [-15.65 \ 15.65 \ -15.65 \ 15.65]^T$ dan (a) $Q = 0.01, R = 0.01$ (b) $Q = 0.01, R = 1$	64
Gambar 4.24	Hasil Simulasi Kecepatan Angin pada Filter Kalman $n = 4$ dengan $\hat{x}_0 = [-15.65 \ 15.65 \ -15.65 \ 15.65]^T$ dan	

Gambar 4.25	(a) $Q = 1, R = 0.01$ (b) $Q = 1, R = 1$ Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Kecepatan Angin menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 4$ dengan $\hat{x}_0 = [-15.65 \ 15.65 \ -15.65 \ 15.65]^T$ dan (a) $Q = 1, R = 0.01$ (b) $Q = 1, R = 1$	65
Gambar 4.26	Hasil Simulasi Tinggi Gelombang pada Filter Kalman $n = 2$ dengan $\hat{x}_0 = [-3 \ 3]^T$ dan (a) $Q = 0.01, R = 0.01$ (b) $Q = 0.01, R = 1$	66
Gambar 4.27	Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Tinggi Gelombang menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 2$ dengan $\hat{x}_0 = [-3 \ 3]^T$ dan (a) $Q = 0.01, R = 0.01$ (b) $Q = 0.01, R = 1$	68
Gambar 4.28	Hasil Simulasi Tinggi Gelombang pada Filter Kalman $n = 2$ dengan $\hat{x}_0 = [-3 \ 3]^T$ dan (a) $Q = 1, R = 0.01$ (b) $Q = 1, R = 1$	69
Gambar 4.29	Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Tinggi Gelombang menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 2$ dengan $\hat{x}_0 = [-3 \ 3]^T$ dan (a) $Q = 1, R = 0.01$ (b) $Q = 1, R = 1$	70
Gambar 4.30	Hasil Simulasi Tinggi Gelombang pada Filter Kalman $n = 3$ dengan $\hat{x}_0 = [-3 \ 3 \ -3]^T$ dan (a) $Q = 0.01, R = 0.01$ (b) $Q = 0.01, R = 1$	71
Gambar 4.31	Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Tinggi Gelombang menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 3$ dengan $\hat{x}_0 = [-3 \ 3 \ -3]^T$ dan (a) $Q = 0.01, R = 0.01$ (b) $Q = 0.01, R = 1$	73
Gambar 4.32	Hasil Simulasi Tinggi Gelombang pada Filter Kalman $n = 3$ dengan $\hat{x}_0 = [-3 \ 3 \ -3]^T$ dan (a) $Q = 1, R = 0.01$ (b) $Q = 1, R = 1$	74
		75

Gambar 4.33	Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Tinggi Gelombang menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 3$ dengan $\hat{x}_0 = [-3 \ 3 \ -3]^T$ dan (a) $Q = 1, R = 0.01$ (b) $Q = 1, R = 1$	76
Gambar 4.34	Hasil Simulasi Tinggi Gelombang pada Filter Kalman $n = 4$ dengan $\hat{x}_0 = [-3 \ 3 \ -3 \ 3]^T$ dan (a) $Q = 0.01, R = 0.01$ (b) $Q = 0.01, R = 1$	78
Gambar 4.35	Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Tinggi Gelombang menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 4$ dengan $\hat{x}_0 = [-3 \ 3 \ -3 \ 3]^T$ dan (a) $Q = 0.01, R = 0.01$ (b) $Q = 0.01, R = 1$	79
Gambar 4.36	Hasil Simulasi Tinggi Gelombang pada Filter Kalman $n = 4$ dengan $\hat{x}_0 = [-3 \ 3 \ -3 \ 3]^T$ dan (a) $Q = 1, R = 0.01$ (b) $Q = 1, R = 1$	80
Gambar 4.37	Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Tinggi Gelombang menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 4$ dengan $\hat{x}_0 = [-3 \ 3 \ -3 \ 3]^T$ dan (a) $Q = 1, R = 0.01$ (b) $Q = 1, R = 1$	81

DAFTAR NOTASI

p	: orde dari AR
q	: orde dari MA
ϕ_p	: koefisien orde p
θ_q	: koefisien orde q
B	: <i>backward shift</i>
$(1 - B)^d$: orde <i>differencing</i> nonmusiman
Z_t	: besarnya pengamatan (kejadian) pada waktu ke- t
a_t	: suatu proses <i>white noise</i> atau galat pada waktu ke- t yang diasumsikan mempunyai <i>mean</i> 0 dan varian konstan σ_a^2
K	: lag maksimum
n	: jumlah data (observasi)
$\hat{\rho}_k$: autokorelasi residual untuk lag ke- k
\ln	: natural log
SSE	: <i>Sum Square Error</i>
n	: banyaknya pengamatan
f	: banyak parameter dalam model
x_k	: variabel keadaan berukuran $n \times 1$.
u_k	: vektor masukan deterministik berukuran $m \times 1$.
z_k	: vektor pengukuran/keluaran berukuran $p \times 1$.
A, B, G, H	: matriks-matriks konstan di dalam ukuran berkesesuaian dimana $A = n \times n$, $B = n \times m$, $G = n \times l$, $H = p \times n$
y_i^0	: selisih data aktual dan data prediksi ARIMA ke- i
$a_{j,i}$: koefisien atau parameter yang harus diestimasi oleh Filter Kalman, dengan $j = 0, 1, \dots, n-1$
m_i	: data ke- i
ε_i	: konstanta

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

	Hal
Lampiran 1	Proses Stasioneritas Data 91
Lampiran 2	Output Model ARIMA 107
Lampiran 3	Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi 117
Lampiran 4	Grafik Perbandingan Data Aktual, ARIMA, Filter Kalman-ARIMA 135
Lampiran 5	Grafik Nilai Mutlak Kesalahan ARIMA dan Filter Kalman 141
Lampiran 6	Listing Program Filter Kalman $n = 2$ Kecepatan Angin 147
Lampiran 7	Listing Program Filter Kalman $n = 3$ Kecepatan Angin 151
Lampiran 8	Listing Program Filter Kalman $n = 4$ Kecepatan Angin 155
Lampiran 9	Listing Program Filter Kalman $n = 2$ Tinggi Gelombang 159
Lampiran 10	Listing Program Filter Kalman $n = 3$ Tinggi Gelombang 163
Lampiran 11	Listing Program Filter Kalman $n = 4$ Tinggi Gelombang 167

BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab ini dijelaskan mengenai latar belakang permasalahan, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, serta sistematis penulisan dalam Tugas Akhir.

1.1 Latar Belakang

Negara Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia. Luas wilayah Indonesia seluruhnya adalah 5.180.053 km². Dua pertiga dari wilayah Indonesia merupakan perairan atau wilayah laut[1]. Dengan keadaan geografis seperti ini, dimana laut merupakan bagian mayoritas dari wilayah NKRI maka tidak dapat dipungkiri bahwa kehidupan yang berada di sekitar wilayah Indonesia ini sangat erat hubungannya dengan laut. Begitu juga dengan karakteristik cuaca dan iklim di Indonesia. Hal ini menyebabkan informasi mengenai cuaca dan iklim laut sangat penting untuk Indonesia. Informasi cuaca laut merupakan cuaca yang diperuntukan khusus untuk dunia pelayaran, baik untuk saat akan berlayar, berlabuh maupun selama pelayaran. Umumnya informasi unsur cuaca yang dibutuhkan untuk pelayaran adalah keadaan hujan, keadaan angin, jarak pandang, dan tinggi gelombang. Namun dari unsur-unsur tersebut, yang paling ditakuti bagi pelayaran adalah kencangnya angin dan tinggi gelombang baik untuk jenis kapal nelayan maupun jenis kapal yang besar[2]. Variasi besar tingginya gelombang dipengaruhi oleh faktor musim angin dimana angin yang besar cenderung berpotensi menghasilkan gelombang besar, serta berpotensi mengganggu lalu lintas perhubungan laut dan penyeberangan antar pulau. Dan hal ini tidak jarang menyebabkan kecelakaan kapal.

Bila dilihat dari faktor penyebabnya, prosentase terjadinya kecelakaan kapal karena kondisi alam (*force majeure*) adalah sebesar 38%, lebih besar dibandingkan dengan faktor kesalahan manusia (*human error*) yang sebesar 37%, kesalahan teknis 23% dan faktor lainnya 2%[3]. Contoh nyata kecelakaan akibat cuaca

yang ekstrem yaitu pada kasus tenggelamnya kapal Putri Ayu di Laut Selat Capalulu, Maluku Utara. Cuaca ekstrem pengaruh siklon tropis Kalmaegi ini mengakibatkan ombak tinggi dan angin kencang sehingga kecelakaan nahas pun terjadi[4]. Kapal KM Tirta asal Galesong, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan, tujuan Pulau Seloang, Kalimantan Timur juga merasakan dahsyatnya cuaca ekstrem saat berlayar di Perairan Majene[5]. Dari beberapa kasus tersebut menyebabkan kecepatan angin dan tinggi gelombang menjadi hal yang penting untuk diprediksi dalam pelayaran, karena menyangkut kelayakan untuk berlayar atau tidak.

Pada penelitian sebelumnya, metode ARIMA dan Filter Kalman digunakan dalam tugas akhir yang berjudul “Penerapan Metode Filter Kalman dalam Perbaikan Hasil Prediksi Cuaca dengan Metode ARIMA”. Studi kasus dilakukan di BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) Stasiun Meteorologi Juanda Surabaya. Prediksi dengan metode ARIMA Box Jenkins dilakukan berdasarkan parameter suhu dan kecepatan angin. Kemudian, hasil prediksi tersebut diperbaiki dengan metode Filter Kalman dengan $n = 2$. Hasil akhir menunjukkan bahwa Filter Kalman mempunyai pengaruh yang baik terhadap perbaikan hasil prediksi dengan ditunjukkannya nilai MAPE yang relatif kecil[6].

Dalam Tugas Akhir ini, akan dilakukan prediksi kecepatan angin dengan tinggi gelombang pada cuaca maritim berdasarkan data sekunder dari BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) Stasiun Meteorologi kelas II Maritim Perak II Surabaya[7]. Namun data yang diambil hanya terbatas untuk area perairan Surabaya-Banjarmasin saja. Sebelumnya, data yang diperoleh tersebut diidentifikasi dan dianalisis, model ARIMA Box Jenkins apakah yang sesuai untuk masing-masing parameter (kecepatan angin atau tinggi gelombang). Setelah itu, dilakukan peramalan untuk 62 hari ke depan. Kemudian, dibentuk algoritma Filter Kalman berdasarkan pengambilan beberapa nilai orde error residual ARIMA. Selanjutnya, akan dilihat keakuratan hasil

prediksi ARIMA apabila diimplementasikan dengan Filter Kalman dan pengaruh polinomial derajat error residual ARIMA yang diambil.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimanakah model ARIMA Box Jenkins yang sesuai untuk nilai kecepatan angin dan tinggi gelombang pada cuaca maritim.
2. Bagaimanakah implementasi Filter Kalman pada model error residual ARIMA Box Jenkins untuk prediksi nilai kecepatan angin dan tinggi gelombang pada cuaca maritim.

1.3 Batasan Masalah

Pada Tugas Akhir ini diberikan batasan masalah sebagai berikut :

1. Data yang digunakan adalah data sekunder dari BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) Stasiun Meteorologi kelas II Maritim Perak II Surabaya mulai bulan Januari hingga Agustus 2014 untuk area perairan Surabaya-Banjarmasin.
2. Parameter yang digunakan adalah kecepatan angin (dalam knot) dan tinggi gelombang (dalam meter).
3. Analisis deret berkala (*time series*) univariat.
4. Polinomial derajat error residual ARIMA yang diambil adalah 1 sampai 3.
5. Simulasi dengan menggunakan *software* Minitab 15, *Eviews* 6, Microsoft Excel, dan MatLab R2010a.

1.4 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan model ARIMA yang sesuai untuk nilai kecepatan angin dan tinggi gelombang pada cuaca maritim.

2. Melihat ada atau tidaknya pengaruh polinomial derajat error residual yang lebih tinggi pada Filter Kalman terhadap hasil prediksi nilai kecepatan angin dan tinggi gelombang pada cuaca maritim dengan metode ARIMA.

1.5 Manfaat

Diharapkan penulisan Tugas Akhir ini memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Sebagai rekomendasi kepada pihak BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) II Perak Surabaya untuk membantu prediksi nilai kecepatan angin dan tinggi gelombang pada cuaca maritim.
2. Mengetahui adanya pengaruh polinomial derajat error residual yang lebih tinggi pada Filter Kalman terhadap perbaikan hasil prediksi nilai kecepatan angin dan tinggi gelombang pada cuaca maritim dengan metode ARIMA.

1.6 Sistematika Penulisan

Tugas Akhir ini secara keseluruhan terdiri dari lima bab dan lampiran. Secara garis besar masing-masing bab akan membahas hal-hal berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi beberapa subbab, yaitu latar belakang permasalahan, perumusan masalah, batasan-batasan masalah, tujuan dan manfaat penulisan serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas tentang teori dasar yang relevan untuk memecahkan persoalan yang dibahas pada Tugas Akhir ini, yaitu meliputi peramalan menggunakan ARIMA Box Jenkins dan Filter Kalman.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini membahas tentang metode apa yang digunakan serta langkah-langkah apa saja yang diambil dalam mencapai tujuan Tugas Akhir.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas secara detail proses penentuan model yang sesuai untuk nilai kecepatan angin dan tinggi gelombang pada cuaca maritim dan peramalannya. Kemudian mengimplementasikan metode Filter Kalman pada hasil peramalan tersebut dengan pengambilan beberapa nilai error residual. Terakhir, membandingkan data hasil peramalan dengan data aktual serta dilihat pengaruhnya.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan yang dapat diambil dan saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut dari Tugas Akhir.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dibahas teori-teori yang terkait dengan permasalahan dalam Tugas Akhir. Pertama, membahas mengenai pengertian dan bentuk umum model ARIMA Box Jenkins. Selanjutnya, dibahas mengenai bentuk dari Filter Kalman.

2.1 *Time Series*

Time series atau runtun waktu merupakan serangkaian pengamatan terhadap suatu variabel yang diambil dari waktu ke waktu dan dicatat secara berurutan menurut urutan waktu kejadiannya dengan interval waktu tetap. Analisis *time series* merupakan metode peramalan kuantitatif untuk menentukan pola data pada masa lampau yang dikumpulkan berdasarkan urutan waktu[8].

2.1.1 Stasioneritas

Stasioneritas artinya tidak terjadi pertumbuhan dan penurunan. Data dikatakan stasioner apabila pola data tersebut berada pada kesetimbangan di sekitar nilai rata-rata (*mean*) dan varian yang konstan selama waktu tertentu. *Time series* dikatakan stasioner apabila tidak terdapat unsur trend dan musiman dalam data, atau dapat dikatakan *mean* dan variannya tetap. Selain plot *time series*, kestasioneran dapat dilihat dari plot autokorelasi yang turun mendekati nol secara cepat, umumnya setelah lag kedua atau ketiga[9].

Kestasioneran data secara varian dapat dilihat dari Transformasi Box-Cox dimana dikatakan stasioner jika *rounded value*-nya bernilai 1[9]. Apabila tidak stasioner dalam varian, maka dilakukan transformasi agar nilai varian menjadi konstan. Box dan Cox memperkenalkan transformasi pangkat (*power transformations*) dengan persamaan sebagai berikut[9]:

$$T(Z_t) = \frac{(Z_t^\lambda - 1)}{\lambda}, \lambda \neq 0$$

dengan λ disebut sebagai parameter transformasi. Dalam Transformasi Box-Cox akan diperoleh λ , dimana nantinya akan

menentukan transformasi yang harus dilakukan. Khusus untuk $\lambda = 0$ dapat dinotasikan sebagai berikut:

$$\lim_{\lambda \rightarrow 0} T(Z_t) = \lim_{\lambda \rightarrow 0} Z_t^{(\lambda)} = \lim_{\lambda \rightarrow 0} \frac{(Z_t^\lambda - 1)}{\lambda} = \ln(Z_t)$$

Nilai λ beserta aturan Transformasi Box-Cox dapat dilihat pada Tabel 2.1[9] :

Tabel 2.1 Transformasi Box-Cox

Nilai λ	Transformasi
-1	$\frac{1}{Z_t}$
-0.5	$\frac{1}{\sqrt{Z_t}}$
0.0	$\ln Z_t$
0.5	$\sqrt{Z_t}$
1	Z_t (tidak ada transformasi)

Ketidakstasioneran *mean* dapat diatasi dengan melakukan *differencing* (pembedaan). Perlu diingat bahwa Transformasi Box-Cox untuk melihat kestasioneran varian harus dilakukan sebelum melakukan *differencing*. Operator *shift* mundur (*backward shift*) sangat tepat untuk menggambarkan proses *differencing*. Penggunaan *backward shift* adalah sebagai berikut[9]:

$$B^d Z_t = Z_{t-d}$$

dengan $d = 1, 2, \dots$ (biasanya 1 dan 2). Notasi B yang dipasang pada Z_t mempunyai pengaruh menggeser data satu waktu ke belakang. Sebagai contoh, apabila suatu *time series* nonstasioner maka data tersebut dapat dibuat mendekati stasioner dengan melakukan *differencing* orde pertama dari data.

2.1.2 Model ARIMA

Model *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA) telah dipelajari secara mendalam oleh George Box dan Gwilym

Jenkins pada tahun 1967. Model diterapkan untuk analisis *time series*, peramalan, dan pengendalian. Model *Autoregressive* (AR) pertama kali diperkenalkan oleh Yule pada tahun 1926, kemudian dikembangkan oleh Walker. Sedangkan pada tahun 1937, model *Moving Average* (MA) pertama kali digunakan oleh Slutsky. Sedangkan Wold adalah orang pertama yang menghasilkan dasar-dasar teoritis dari proses kombinasi ARMA. Wold membentuk model ARMA yang dikembangkan untuk mencakup *time series* musiman dan pengembangan sederhana yang mencakup proses-proses nonstasioner (ARIMA)[8].

Model AR(p) atau regresi diri dari orde p menyatakan bahwa nilai pengamatan pada periode ke- t (Z_t) merupakan hasil regresi dari nilai-nilai pengamatan sebelumnya selama p periode. Bentuk fungsi persamaannya adalah[9] :

$$\dot{Z}_t = \phi_1 \dot{Z}_{t-1} + \phi_2 \dot{Z}_{t-2} + \dots + \phi_p \dot{Z}_{t-p} + a_t$$

atau dapat ditulis

$$(1 - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p) \dot{Z}_t = a_t$$

$$\phi_p(B) \dot{Z}_t = a_t$$

Model AR(1), yaitu $p = 1$, $d = 0$, $q = 0$ dapat ditulis:

$$\dot{Z}_t = \phi_1 \dot{Z}_{t-1} + a_t$$

Model AR(2), yaitu $p = 2$, $d = 0$, $q = 0$ dapat ditulis:

$$\dot{Z}_t = \phi_1 \dot{Z}_{t-1} + \phi_2 \dot{Z}_{t-2} + a_t$$

Model MA (q) atau rataaan bergerak orde q menyatakan bahwa nilai pengamatan pada periode ke- t (Z_t) dipengaruhi oleh q buah galat sebelumnya. Bentuk fungsi persamaan untuk model MA(q) adalah[9] :

$$\dot{Z}_t = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q}$$

atau dapat ditulis $\dot{Z}_t = \theta(B) a_t$ dimana

$$\theta(B) = (1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q)$$

Model MA(1), yaitu $p = 0$, $d = 1$, $q = 0$ dapat ditulis:

$$\dot{Z}_t = a_t - \theta_1 a_{t-1}$$

Model MA(2), yaitu $p = 0$, $d = 2$, $q = 0$ dapat ditulis:

$$\dot{Z}_t = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2}$$

Model ARMA adalah gabungan dari model AR dengan MA. Bentuk fungsi persamaan untuk model ARMA(p, q) adalah[9] :

$$\phi_p(B)\dot{Z}_t = \theta_q(B)a_t$$

dimana $\phi_p(B) = (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)$

dan $\theta_q(B) = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q)$

Model ARMA(1,1), yaitu $p = 1, d = 1, q = 0$ dapat ditulis:

$$\dot{Z}_t - \phi_1 B \dot{Z}_t = a_t - \theta_1 a_{t-1} \text{ atau}$$

$$\dot{Z}_t = a_t - \theta_1 a_{t-1} + \phi_1 \dot{Z}_{t-1}$$

Model ARIMA (p, d, q) diperkenalkan oleh Box dan Jenkins. Orde p menyatakan operator dari AR, orde d menyatakan hasil *differencing* (pembedaan), dan orde q menyatakan operator dari MA. Bentuk fungsi persamaan dari model ARIMA adalah[10]:

$$\phi_p(B)(1 - B)^d \dot{Z}_t = \theta_q(B)a_t \quad (2.1)$$

dengan :

$$\dot{Z}_t = Z_t - \mu$$

p : orde dari AR

q : orde dari MA

ϕ_p : koefisien orde p

θ_q : koefisien orde q

B : *backward shift*

$(1 - B)^d$: orde *differencing* nonmusiman

Z_t : besarnya pengamatan (kejadian) pada waktu ke- t

a_t : suatu proses *white noise* atau galat pada waktu ke- t yang diasumsikan mempunyai *mean* 0 dan varian konstan σ_a^2

2.1.3 Prosedur ARIMA Box-Jenkins

Pada tahap ini, meliputi empat tahapan yaitu identifikasi, penaksiran dan pengujian parameter, pemeriksaan diagnosis dan peramalan[10]:

1. Identifikasi

Pada tahap ini, dilakukan plot *time series*, ACF, dan PACF. Sehingga ditetapkan model yang telah diketahui orde AR, orde I, dan orde MA.

2. Penaksiran dan Pengujian Parameter

Secara umum, penaksiran parameter model ARIMA Box Jenkins dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode, yaitu metode *Moment*, metode *Least Squares* (*Conditional Least Squares*), metode *Maximum Likelihood*, metode *Unconditional Least Squares*, metode *Nonlinier Estimation*[10]. Untuk pendugaan parameter dalam *software Eviews 6* menggunakan metode *Least Squares*. Metode *Least Squares* merupakan suatu metode yang dilakukan untuk mencari nilai parameter yang meminimumkan jumlah kuadrat kesalahan (selisih antara nilai aktual dan peramalan). Seperti pada model AR(1) berikut[10]:

$$Z_t - \mu = \phi_1(Z_{t-1} - \mu) + a_t$$

Model *Least Squares* untuk AR(1) ditunjukkan dalam persamaan berikut[10]:

$$S(\phi, \mu) = \sum_{t=2}^n a_t^2 = \sum_{t=2}^n [(Z_t - \mu) - \phi(Z_{t-1} - \mu)]^2$$

Berdasarkan prinsip dari metode *Least Squares*, ditaksir ϕ dan μ dengan cara meminimumkan $S(\phi, \mu)$. Hal ini dilakukan dengan menurunkan $S(\phi, \mu)$ terhadap μ dan ϕ kemudian disamadengankan nol. Turunan $S(\phi, \mu)$ terhadap μ menghasilkan:

$$\frac{\partial S}{\partial \mu} = \sum_{t=2}^n 2[(Z_t - \mu) - \phi(Z_{t-1} - \mu)](-1 + \phi) = 0$$

dengan demikian diperoleh nilai estimasi parameter μ dari model AR(1) sebagai berikut[10]:

$$\hat{\mu} = \frac{\sum_{t=2}^n Z_t - \phi \sum_{t=2}^n Z_{t-1}}{(n-1)(1-\phi)}$$

Sedangkan turunan $S(\phi, \mu)$ terhadap ϕ menghasilkan:

$$\frac{\partial S}{\partial \phi} = -2 \sum_{t=2}^n [(Z_t - \mu) - \phi(Z_{t-1} - \mu)](Z_{t-1} - \mu) = 0$$

didapatkan nilai estimasi sebagai berikut:

$$\hat{\phi} = \frac{\sum_{t=2}^n (Z_t - \mu)(Z_{t-1} - \mu)}{\sum_{t=2}^n (Z_{t-1} - \mu)^2}$$

Setelah didapatkan nilai estimasi dari masing-masing parameter selanjutnya dilakukan pengujian signifikansi untuk mengetahui apakah model layak atau tidak untuk digunakan. Untuk pengujian signifikansi parameter dengan uji *t-student*.

Hipotesis:

H_0 : estimasi parameter = 0 (parameter model tidak signifikan)

H_1 : estimasi parameter $\neq 0$ (parameter model signifikan)

Statistik Uji:

$$t_{hitung} = \frac{\text{estimasi parameter}}{\text{st.deviasi parameter}}, \text{ st. deviasi parameter} \neq 0$$

Kriteria Pengujian:

dengan $\alpha = 0.05$, jika $|t_{hitung}| > t_{\frac{\alpha}{2}, (n-p-1)}$, maka H_0 ditolak artinya parameter model signifikan. Atau menggunakan nilai *P-value*, jika *P-value* $< \alpha$ maka H_0 ditolak artinya parameter model signifikan.

3. Pemeriksaan Diagnostik

Pengujian diagnostik dilakukan setelah pengujian signifikansi estimasi parameter, untuk membuktikan kecukupan model. Asumsi yang harus dipenuhi adalah residual harus bersifat *white noise* dan berdistribusi normal.

a. Uji Asumsi Residual *White Noise*

White noise artinya tidak ada korelasi pada deret residual. Langkah –langkah pengujian asumsi residual bersifat *white noise* menggunakan uji Ljung-Box. Pengujiannya dapat dilakukan dengan hipotesis sebagai berikut:

Hipotesis:

$$H_0 : \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_k = 0 \text{ (residual memenuhi syarat)}$$

H_1 : minimal ada $\rho_i \neq 0$ untuk $i=1,2, \dots, k$ (residual belum memenuhi syarat)

Statistik Uji:

$$Q = n(n+2) \sum_{k=1}^K \frac{\hat{\rho}_k^2}{(n-k)}, \quad n > K$$

dengan:

K : lag maksimum

n : jumlah data (observasi)

$\hat{\rho}_k$: autokorelasi residual untuk lag ke- k

Kriteria Pengujian:

dengan $\alpha = 0.05$, jika $Q < \chi^2_{(\alpha; df=K-p-q)}$, maka H_0 diterima artinya residual *white noise*. Atau menggunakan kriteria *P-value*, jika *P-value* $> \alpha$ maka H_0 diterima artinya residual *white noise*.

b. Uji Asumsi Distribusi Normal

Langkah-langkah pengujian asumsi distribusi normal menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov.

Hipotesis :

$H_0 : S(x) = F_0(x)$ untuk semua x (residual berdistribusi normal)

$H_1 : S(x) \neq F_0(x)$ untuk beberapa x (residual tidak berdistribusi normal)

Statistik Uji :

$$D_{hitung} = \sup |S(x) - F_0(x)|$$

dimana:

D_{hitung} : deviasi maksimum

\sup : nilai supremum untuk semua x dari selisih mutlak $S(x)$ dan $F_0(x)$

$F_0(x)$: fungsi distribusi yang dihipotesiska berdistribusi normal.

$S(x)$: fungsi distribusi komulatif dari data sampel.

Kriteria Pengujian :

dengan menggunakan $\alpha = 0.05$, jika $D_{hitung} < D_{\alpha,n}$ atau D_{hitung} yang dihitung lebih kecil dari tabel D , maka H_0 diterima artinya residual model berdistribusi normal. Atau menggunakan $P-value$ jika $P-value > \alpha$ maka H_0 diterima artinya residual model berdistribusi normal.

c. *Overfitting*

Salah satu prosedur pemeriksaan diagnostik yang dikemukakan Box Jenkins adalah *overfitting*, yakni dengan menambah satu atau lebih parameter dalam model yang dihasilkan pada tahap identifikasi. Karena ada salah satu estimasi parameter yang tidak signifikan maka dilakukan tahap *overfitting*. Model yang dihasilkan dari hasil *overfitting* dijadikan sebagai model alternatif yang kemudian dicari model yang terbaik diantara model-model yang signifikan.

4. Peramalan

Pada tahap ini ditemukan model yang sesuai, namun bukan model sebenarnya karena di dalamnya masih terdapat kesalahan. Hasil ramalan dikatakan baik apabila memiliki tingkat kesalahan yang kecil, artinya nilai ramalan mendekati nilai aktualnya. Berikut ini adalah kriteria pemilihan model terbaik sebelum dilakukan peramalan[10]:

1. AIC (*Akaike Information Criterion*)

adalah suatu kriteria pemilihan model terbaik yang mempertimbangkan banyaknya parameter dalam model. Kriteria AIC dapat dirumuskan sebagai berikut[10]:

$$AIC = n \ln \left(\frac{SSE}{n} \right) + 2f + n + n \ln(2\pi)$$

dengan:

\ln : natural log

SSE : *Sum Square Error*

n : banyaknya pengamatan

f : banyak parameter dalam model

2. SBC (*Schwart's Bayesian Criterion*)

adalah suatu kriteria pemilihan model terbaik yang berdasarkan pada nilai terkecil. Kriteria SBC dapat dirumuskan sebagai berikut[10]:

$$SBC = n \ln \left(\frac{SSE}{n} \right) + f \ln n + n + n \ln(2\pi)$$

dengan:

\ln : natural log

SSE : *Sum Square Error*

n : banyaknya pengamatan

f : banyak parameter dalam model

Selain itu, pemilihan model terbaik juga dapat dilihat dengan menggunakan perhitungan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), yaitu ukuran kesalahan yang dihitung dengan mencari nilai tengah dari presentase absolut perbandingan kesalahan atau *error* dengan data aktualnya. Didefinisikan MAPE adalah sebagai berikut[8]:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Z_t - \hat{Z}_t}{Z_t} \right| (100) \quad (2.2)$$

dengan:

Z_t : nilai data ke- t

\hat{Z}_t : nilai peramalan ke- t

n : banyaknya data

2.2 Metode Filter Kalman

Sistem dengan noise dapat dideskripsikan[11] :

$$x_{k+1} = Ax_k + Bu_k + Gw_k$$

dengan pengukuran

$$z_k = Hx_k + v_k$$

dengan $x_k \in R^n$, $u_k \in R^m$, $z_k \in R^p$, $w_k \in R^l$, $v_k \in R^p$.

x_k : variabel keadaan berukuran $n \times 1$.

u_k : vektor masukan deterministik berukuran $m \times 1$.

z_k : vektor pengukuran/keluaran berukuran $p \times 1$.

A, B, G, H : matriks-matriks konstan di dalam ukuran berkesuaian
dimana $A = n \times n$, $B = n \times m$, $G = n \times l$, $H = p \times n$

w_k merupakan noise berukuran $l \times 1$ pada sistem yang berdistribusi normal dengan *mean* $\bar{w}_k = 0$ dan kovariansi $\overline{w_k w_k^T} = Q$. Q merupakan matriks semi definit positif ($|Q| \geq 0$). Sehingga dapat ditulis sebagai $w_k \sim N(0, Q_k)$. Sedangkan v_k merupakan noise berukuran $p \times 1$ pada pengukuran yang berdistribusi normal dengan *mean* $\bar{v}_k = 0$ dan kovariansi $\overline{v_k v_k^T} = R$, dengan R merupakan matriks semi definit positif ($|R| \geq 0$). Sehingga dapat ditulis $v_k \sim N(0, R_k)$. Simbol garis di atas (*overbar*) menunjukkan *mean* dari suatu variabel random. *Mean* dari variabel keadaan x_{k+1} ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\bar{x}_{k+1} &= \overline{Ax_k + Bu_k + Gw_k} \\ &= A\bar{x}_k + B\bar{u}_k + G\bar{w}_k\end{aligned}$$

Namun, u_k adalah variabel input yang deterministik sehingga berlaku bahwa $\bar{u}_k = u_k$. Sedangkan untuk nilai $\bar{w}_k = 0$ karena w_k bersifat *white noise*. dapat ditulis kembali menjadi:

$$\bar{x}_{k+1} = A\bar{x}_k + Bu_k$$

Sedangkan kovariansi kesalahan estimasi pada waktu $k+1$ dapat diperoleh dari persamaan berikut[11] :

$$\begin{aligned}P_{x_{k+1}} &= \overline{(x_{k+1} - \bar{x}_{k+1})(x_{k+1} - \bar{x}_{k+1})^T} \\ &= \overline{[A(x_k - \bar{x}_k) + Gw_k][A(x_k - \bar{x}_k) + Gw_k]^T} \\ &= \overline{A(x_k - \bar{x}_k)(x_k - \bar{x}_k)^T A^T + Gw_k(x_k - \bar{x}_k)^T A^T} \\ &\quad + \overline{A(x_k - \bar{x}_k)w_k^T G^T + Gw_k w_k^T G^T} \\ &= AP_{x_k}A^T + GP_{x_k w_k}A^T + AP_{x_k w_k}G^T + GQ_kG^T\end{aligned}$$

Karena x_k dan w_k tidak berkorelasi, maka $P_{w_k x_k} = P_{x_k w_k} = 0$ sehingga diperoleh:

$$P_{x_{k+1}} = AP_{x_k}A^T + GQ_kG^T$$

Selanjutnya, ditunjukkan *mean* dan kovarian dari model pengukuran[11]:

Mean dari z_k dapat ditulis:

$$\bar{z}_k = \overline{H_k x_k + v_k} = H_k \bar{x}_k + \bar{v}_k$$

$\bar{v}_k = 0$ karena v_k bersifat *white noise*, sehingga

$$\bar{z}_k = H_k \bar{x}_k$$

Sedangkan kovariansi dari pengukuran

$$\begin{aligned} P_{z_k} &= \overline{(z_k - \bar{z}_k)(z_k - \bar{z}_k)^T} \\ &= \overline{[H_k(x_k - \bar{x}_k) + v_k][H_k(x_k - \bar{x}_k) + v_k]^T} \end{aligned}$$

Dengan asumsi x_k dan v_k tidak berkorelasi maka

$$P_{z_k} = H_k P_{x_k} H_k^T + R_k$$

Sedangkan untuk kovariansi antara state x_k dengan output z_k adalah

$$\begin{aligned} P_{x_k z_k} &= \overline{(x_k - \bar{x}_k)(z_k - \bar{z}_k)^T} \\ &= \overline{(x_k - \bar{x}_k)[H_k(x_k - \bar{x}_k) + v_k]^T} \\ &= P_{x_k} H_k^T \end{aligned}$$

Sehingga dapat disimpulkan distribusi variabel random x_k dan z_k adalah

$$\begin{bmatrix} x_k \\ z_k \end{bmatrix} \sim \left(\begin{bmatrix} \bar{x}_k \\ \bar{z}_k \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} P_{x_k} & P_{x_k z_k} \\ P_{z_k x_k} & P_{z_k} \end{bmatrix} \right)$$

atau

$$\begin{bmatrix} x_k \\ z_k \end{bmatrix} \sim \left(\begin{bmatrix} \bar{x}_k \\ \bar{z}_k \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} P_{x_k} & P_{x_k} H_k^T \\ H_k P_{x_k} & H_k P_{x_k} H_k^T + R_k \end{bmatrix} \right)$$

Estimator linier terbaik untuk variabel random x_k jika diberikan \bar{x}_k , P_{x_k} , dan pengukuran z_k yaitu:

$$\begin{aligned} P_{\hat{x}_k} &= (P_{x_k}^{-1} + H_k^T R_k^{-1} H_k)^{-1} \\ \hat{x}_k &= \bar{x}_k + P_{\hat{x}_k} H_k^T R_k^{-1} (z_k - H_k \bar{x}_k) \end{aligned}$$

dimana \hat{x}_k adalah estimasi untuk x_k dan error estimasinya yaitu $x_k - \hat{x}_k$.

Metode Filter Kalman memiliki dua tahap, yaitu *time update* dan *measurement update*. Pada tahap *time update* didefinisikan estimasi state $\hat{x}_k^- \in R^n$, atau disebut juga *priori state estimate*. Sedangkan pada tahap *measurement update* didefinisikan estimasi state $\hat{x}_k \in R^n$, atau disebut juga *posteriori state estimate*. Nilai estimasi tahap *measurement update* tergantung residual. Koefisien dari residual disebut Kalman gain, dengan persamaan:

$$K_k = P_k H_k^T R_k^{-1}$$

Apabila $\det(P_{k+1}^-) = 0$, maka untuk nilai $(P_{k+1}^-)^{-1}$ tidak dapat ditentukan, sehingga bentuk tahap *measurement update* berdasarkan pengertian Kalman Gain adalah:

$$\begin{aligned} K_{k+1} &= P_{k+1}^- H_k^T (H_{k+1} P_{k+1}^- H_k^T + R_k^{-1})^{-1} \\ P_{k+1} &= (I - K_{k+1} H_{k+1}) P_{k+1}^- \\ \hat{x}_{k+1} &= \hat{x}_{k+1}^- + K_{k+1} (z_{k+1} - H_{k+1} \hat{x}_{k+1}^-) \end{aligned}$$

Sehingga dari persamaan-persamaan yang sudah ada, dapat dituliskan algoritma Filter Kalman sebagai berikut[11]:

Sistem dinamik stokastik

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= Ax_k + Bu_k + Gw_k \\ z_k &= Hx_k + v_k \\ x_0 &\sim N(\bar{x}_0, P_{x_0}) \\ w_k &\sim N(0, Q_k) \\ v_k &\sim N(0, R_k) \end{aligned}$$

Asumsi

$\{w_k\}$ dan $\{v_k\}$ merupakan proses *white noise* yang tidak berkorelasi dengan x_0 dan lainnya. $R_k > 0$.

Diberikan

$$\begin{aligned} P_0 &= P_{x_0} \\ \hat{x}_0 &= \bar{x}_0 \end{aligned}$$

Tahap prediksi

$$\begin{aligned} P_{k+1}^- &= AP_k A^T + GQ_k G^T \\ \hat{x}_{k+1}^- &= A\hat{x}_k + B_k u_k \end{aligned}$$

Tahap koreksi

$$\begin{aligned} K_{k+1} &= P_{k+1}^- H_k^T (H_{k+1} P_{k+1}^- H_k^T + R_k^{-1})^{-1} \\ P_{k+1} &= (I - K_{k+1} H_{k+1}) P_{k+1}^- \\ \hat{x}_{k+1} &= \hat{x}_{k+1}^- + K_{k+1} (z_{k+1} - H_{k+1} \hat{x}_{k+1}^-) \end{aligned}$$

2.3 Model Matematika

Pada tugas akhir, didasarkan pada pengamatan dan sesuai hasil model peramalan analisis *time series* dari dua parameter yaitu kecepatan angin dan tinggi gelombang. Setelah penggunaan algoritma Filter Kalman akan dilakukan pendekatan yang didasarkan pada koreksi dari bias prakiraan dalam penggunaan

Filter Kalman. Selanjutnya akan difokuskan pada studi parameter satu waktu. Diberikan polinomial[12]:

$$y_i^0 = a_{0,i} + a_{1,i}m_i + \dots + a_{n-1,i} m_i^{n-1} + \varepsilon_i \quad (2.3)$$

dengan:

y_i^0 : selisih data aktual dan data prediksi ARIMA ke- i

$a_{j,i}$: koefisien atau parameter yang harus diestimasi oleh Filter Kalman, dengan $j = 0, 1, \dots, n-1$

m_i : data ke- i

ε_i : konstanta

Diberikan asumsi sebagai state vektor yang dibentuk dari koefisien $a_{j,i}$ yaitu $x(t_i) = [a_{0,i} \ a_{1,i} \ a_{2,i} \ \dots \ a_{n-1,i}]^T$, sebagai pengamatan bias adalah y_i^0 , sebagai matriks pengamatan adalah $H_i = [1 \ m_i \ m_i^2 \ \dots \ m_i^{n-1}]$, dan yang sebagai matriks sistem adalah I_n . Sehingga persamaan sistem dan pengamatan adalah sebagai berikut[12]:

$$\begin{aligned} x^t(t_{i+1}) &= x^t(t_i) + \eta(t_i) \\ y_i^0 &= H_i[x^t(t_{i+1})] + \varepsilon_i \end{aligned}$$

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODE PENELITIAN

Pada bab ini dijelaskan metode yang digunakan dalam Tugas Akhir agar proses pengerjaan dapat terstruktur dengan baik dan dapat mencapai tujuan yang telah ditetapkan sebelumnya. Proses pengerjaan terdiri dari empat tahap, yaitu studi literatur, pengumpulan data, pengolahan data, serta analisis hasil dan penarikan kesimpulan. Tahapan tersebut direpresentasikan dengan diagram alir pada Gambar 3.1.

3.1 Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan identifikasi permasalahan yang akan dibahas. Dari permasalahan dan tujuan yang telah dirumuskan, selanjutnya dilakukan studi literatur untuk mendukung pengerjaan Tugas Akhir dan pemahaman yang lebih mendalam tentang metode yang akan digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam Tugas Akhir. Literatur yang dipelajari bersumber dari jurnal, penelitian sebelumnya, dan dari website-website di internet.

3.2 Pengumpulan dan Analisis Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan data yang dibutuhkan untuk pengerjaan tugas akhir, yaitu data sekunder yang berupa data kecepatan angin dan tinggi gelombang dari BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) Stasiun Meteorologi kelas II Maritim Perak II Surabaya mulai bulan Januari hingga Agustus 2014 untuk area perairan Surabaya-Banjarmasin[7].

3.3 Analisis Model dan Peramalan Data dengan Metode ARIMA Box Jenkins

Dengan menggunakan *software* Minitab 15 dan *Eviews 6*, akan dicek model dan peramalan data untuk bulan Januari hingga Juni tahun 2014. Langkah pertama adalah melakukan uji stasioner

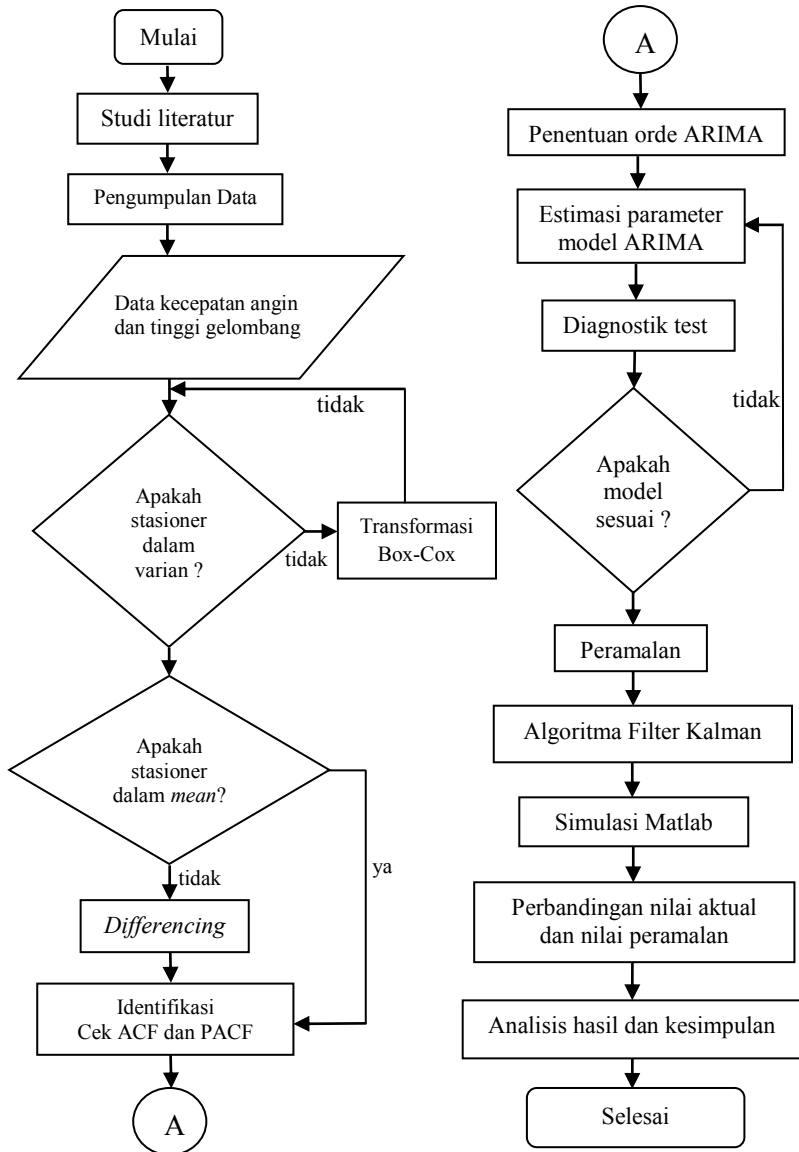
terhadap data, apakah data telah stasioner baik dalam *mean* maupun varian. Cek kestasioneran terhadap varian dengan plot Box-Cox, sedangkan cek kestasioneran terhadap *mean* dengan plot *time series*. Jika belum stasioner, maka harus dibuat stasioner terlebih dahulu. Selanjutnya, plot ACF dan PACF untuk menemukan prakiraan model. Dari beberapa prakiraan model tersebut akan dilakukan estimasi parameter, uji kesignifikan parameter, serta pemeriksaan diagnostik yang berupa uji residual *white noise* dan berdistribusi normal. Setelah menemukan model sementara, maka dilakukan *overfitting*. Model terbaik adalah model hasil *overfitting* yang memenuhi semua asumsi, antara lain parameter signifikan, residual *white noise* dan berdistribusi normal, serta memiliki nilai AIC dan SBC terkecil.

3.4 Implementasi Metode Filter Kalman dan Simulasi dengan Matlab

Dari hasil peramalan yang telah diperoleh, maka akan diimplementasikan algoritma Filter Kalman dengan menggunakan *software* Matlab R2010a untuk mengetahui hasil dari estimasi parameter dan state. Kemudian akan ditunjukkan grafik koefisien polinomial serta perbandingan antara data aktual, ARIMA Box Jenkins, dan Filter Kalman dengan pemilihan beberapa polinomial derajat.

3.5 Penarikan Kesimpulan

Pada tahap ini dilakukan penarikan kesimpulan dari hasil yang telah didapatkan pada tahap-tahap sebelumnya. Model ARIMA apakah yang sesuai untuk masing-masing parameter, yaitu kecepatan angin dan tinggi gelombang. Serta dilihat apakah metode Filter Kalman mampu memperbaiki hasil prediksi ARIMA Box Jenkins dengan mengestimasi koefisien dari polinomial derajat. Apabila mampu, maka akan dilihat apakah pemilihan orde pada polinomial berpengaruh terhadap hasil perbaikan prediksi ARIMA.



Gambar 3.1 Diagram Alir

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

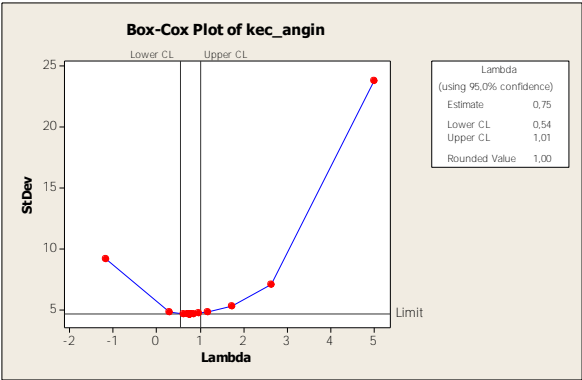
4.1 Analisis Model dan Peramalan

4.1.1 Analisis Model dan Peramalan Data Kecepatan Angin

Pada subbab ini akan dilakukan analisis data *time series* kecepatan angin sehingga diperoleh model dan peramalan yang sesuai. Data kecepatan angin yang digunakan adalah data sekunder dari BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) Stasiun Meteorologi kelas II Maritim Perak II Surabaya pada bulan Januari sampai dengan Agustus 2014 untuk area perairan Jawa-Banjarmasin[7]. Data tersebut dibagi dua, untuk bulan Januari sampai Juni 2014 sebagai *in sample*, sedangkan untuk bulan Juli dan Agustus 2014 sebagai *out sample*.

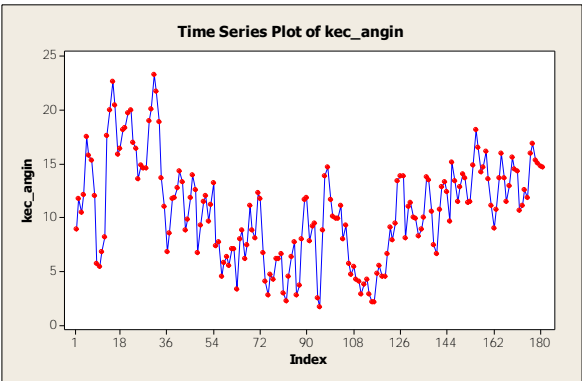
Data *in sample* kecepatan angin kemudian diolah dengan *software* Minitab 15 dan *Eviews 6* untuk memperoleh model ARIMA yang sesuai. Langkah pertama yang harus dilakukan adalah melihat kestasioneran data, karena syarat pembentukan model analisis *time series* adalah dengan mengasumsikan bahwa data dalam keadaan stasioner. *Time series* dikatakan stasioner apabila tidak terdapat perubahan kecenderungan, baik dalam *mean* maupun varians. Dengan kata lain, *time series* stasioner apabila relatif tidak terjadi kenaikan ataupun penurunan nilai secara tajam pada data[10].

Kestasioneran data terhadap varians dapat dilihat dari hasil Transformasi Box-Cox dimana dikatakan stasioner apabila *rounded value*-nya adalah 1[9]. Dari Gambar 4.1 dapat dilihat pada kotak dialog bahwa nilai *lambda* dengan nilai kepercayaan 95% berada diantara 0.54 dan 1.01, dengan nilai *estimate* sebesar 0.75 dan *rounded value* sebesar 1.0. Hal ini berarti data dari BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) Stasiun Meteorologi kelas II Maritim Perak II Surabaya telah stasioner terhadap varians karena *rounded value*-nya sama dengan 1. Sehingga data tersebut tidak perlu distasionerkan dengan menggunakan Transformasi Box-Cox.



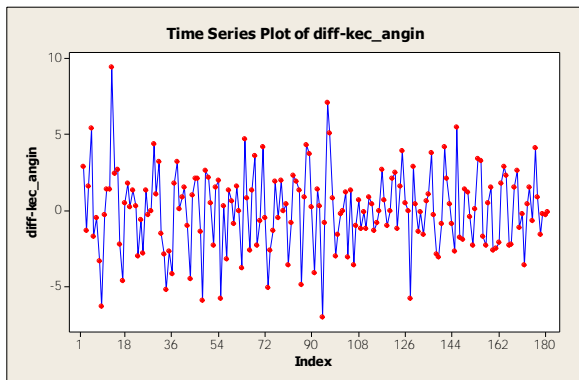
Gambar 4.1 Plot Box-Cox Data Kecepatan Angin

Setelah melihat kestasioneran dalam varians, maka akan dilihat apakah data telah stasioner dalam *mean*. Kestasioneran dalam *mean* dapat dilihat dari plot *time series*. Hasil plot dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Plot *Time Series* Data Kecepatan Angin

Pada Gambar 4.2 terlihat bahwa data tersebut tidak pada pola yang teratur dan cenderung fluktuatif, artinya data kecepatan angin tersebut tidak stasioner terhadap *mean*. Untuk mencapai stasioner terhadap *mean* diperlukan *differencing* (pembedaan). Setelah *differencing* pertama dilakukan, data tersebut dibuat plot *time series*. Plot *time series* data hasil *differencing* pertama dapat dilihat pada Gambar 4.3.

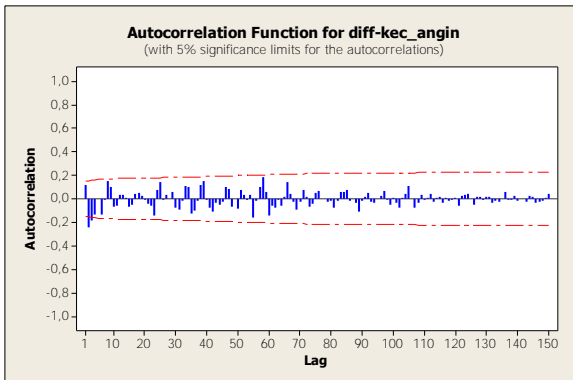


Gambar 4.3 Plot *Time Series* Data Hasil Differencing

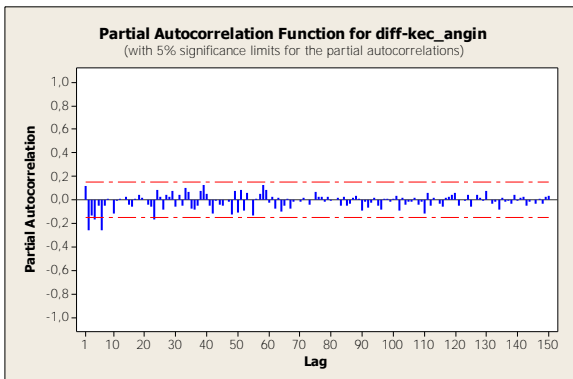
Dari Gambar 4.3 terlihat bahwa data telah stasioner dalam *mean*, terlihat dari rata-rata deret pengamatan yang berfluktuasi di sekitar nilai tengah. Karena data telah stasioner terhadap *mean* dan varians, maka uji stasioneritas data sudah selesai. Langkah selanjutnya yang dilakukan untuk pemodelan ARIMA adalah identifikasi model. Tujuannya adalah mendapatkan model ARIMA sementara untuk data kecepatan angin. Plot ACF ditunjukkan pada Gambar 4.4, sedangkan plot PACF dapat dilihat pada Gambar 4.5.

Terlihat pada Gambar 4.4 plot dari ACF keluar pada lag ke-2 dan 3. Sedangkan pada Gambar 4.5 plot dari PACF keluar pada

lag ke-2 dan 6. Sehingga dugaan model sementara untuk data kecepatan angin adalah ARIMA $([2,6],1,[2,3])$ atau dapat ditulis ARIMA $(2,1,2)$.



Gambar 4.4 Plot ACF Hasil *Differencing* Data Kecepatan Angin



Gambar 4.5 Plot PACF Hasil *Differencing* Data Kecepatan Angin

Selanjutnya akan dilakukan estimasi parameter dan uji kesignifikanan parameter untuk model sementara. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *software Eviews 6*. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.1 :

Tabel 4.1 Estimasi Parameter Model ARIMA ([2,6],1,[2,3])

Parameter	Koefisien	SE	t-stat.	P-value
AR(1)= ϕ_2	0.115122	0.174378	0.660191	0.5100
AR(2)= ϕ_6	-0.123317	0.082893	-1.487671	0.1387
MA(1)= θ_2	-0.485056	0.152120	-3.188644	0.0017
MA(2)= θ_3	-0.169935	0.070451	-2.412082	0.0169

Uji kesignifikanan parameter menggunakan uji-t *student*.

1. Menguji parameter AR(1)= ϕ_2

Hipotesis:

$H_0 : \phi_2 = 0$ (parameter model tidak signifikan)

$H_1 : \phi_2 \neq 0$ (parameter model signifikan)

Statistik uji:

$$\begin{aligned}
 t_{hitung} &= \frac{\phi_2}{st.(\phi_2)} \\
 &= \frac{0.115122}{0.174378} \\
 &= 0.66018649
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{tabel} &= t_{0,025;179} \\
 &= 1,97331
 \end{aligned}$$

dengan $\alpha = 0.05$, karena $|t_{hitung}| < t_{0,025;179}$ maka H_0 diterima artinya parameter tidak signifikan.

2. Menguji parameter AR(2)= ϕ_6

Hipotesis:

$H_0 : \phi_6 = 0$ (parameter model tidak signifikan)

$H_1 : \phi_6 \neq 0$ (parameter model signifikan)

Statistik uji:

$$\begin{aligned} t_{hitung} &= \frac{\phi_6}{st.(\phi_6)} \\ &= \frac{-0.123317}{0.082893} \\ &= -1.4876648 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{tabel} &= t_{0,025;179} \\ &= 1,97331 \end{aligned}$$

dengan $\alpha = 0.05$, karena $|t_{hitung}| < t_{0,025;179}$ maka H_0 diterima artinya parameter tidak signifikan.

3. Menguji parameter MA(1) = θ_2

Hipotesis:

$H_0 : \theta_2 = 0$ (parameter model tidak signifikan)

$H_1 : \theta_2 \neq 0$ (parameter model signifikan)

Statistik uji:

$$\begin{aligned} t_{hitung} &= \frac{\theta_2}{st.(\theta_2)} \\ &= \frac{-0.485056}{0.152120} \\ &= -3.1886406 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{tabel} &= t_{0,025;179} \\ &= 1,97331 \end{aligned}$$

dengan $\alpha = 0.05$, karena $|t_{hitung}| > t_{0,025;179}$ maka H_0 ditolak artinya parameter signifikan.

4. Menguji parameter MA(2) = θ_3

Hipotesis:

$H_0 : \theta_6 = 0$ (parameter model tidak signifikan)

$H_1 : \theta_6 \neq 0$ (parameter model signifikan)

Statistik uji:

$$\begin{aligned} t_{hitung} &= \frac{\theta_3}{st.(\theta_3)} \\ &= \frac{-0.169935}{0.070452} \\ &= -2.412102 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{tabel} &= t_{0,025;179} \\ &= 1,97331 \end{aligned}$$

dengan $\alpha = 0.05$, karena $|t_{hitung}| < t_{0,025;179}$ maka H_0 diterima artinya parameter tidak signifikan.

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, parameter AR(1) dan AR(2) tidak signifikan dalam model, sedangkan parameter MA(1) dan MA(2) signifikan. Selanjutnya asumsi yang harus dipenuhi adalah residual bersifat *white noise* dan berdistribusi normal. Pengujian asumsi *white noise* dapat dilakukan dengan menggunakan uji Ljung-Box.

Hipotesis:

$H_0 : \rho_1 = \dots = \rho_6 = 0$

$H_1 : \text{minimal ada satu } \rho_j \neq 0, \text{ dengan } j = 1, 2, \dots, 6$

Statistik Uji:

Untuk k (lag maksimum) = 6, maka:

$$\begin{aligned}
Q &= n(n+2) \sum_{k=1}^6 \frac{\hat{\rho}_k^2}{n-k}, \quad \hat{\rho}_k \text{ autokorelasi residual lag } -k \\
&= 181(181+2) \left(\frac{(0.058)^2}{181-1} + \frac{(0.030)^2}{181-2} + \dots + \frac{(-0.028)^2}{181-6} \right) \\
&= 181(183)(0.000102) \\
&= 3.371564
\end{aligned}$$

Dengan tabel Distribusi Chi-Kuadrat diperoleh:

$$\chi^2_{(0.05;6-2-2)} = 5.9915$$

dengan $\alpha = 0.05$, karena $Q < \chi^2_{(0.05;6-2-2)}$ maka H_0 diterima artinya residual bersifat *white noise*. Atau menggunakan *P-value*, karena $P\text{-value} = 0.200 > \alpha = 0.05$ maka H_0 diterima artinya residual bersifat *white noise*. Dengan metode yang sama untuk lag 12, 18, dan 24 disajikan pada Tabel 4.2 Sehingga dapat diperoleh kesimpulan bahwa residual bersifat *white noise*.

Tabel 4.2 Uji Asumsi Residual *white noise* ARIMA ([2,6],1,[2,3])

Lag(K)	Q-Stat	$\chi^2_{(0.05;K-p-q)}$	P-value
6	3.371564	5.9915	0.200
12	6.893885	15.5073	0.579
18	8.920609	23.6848	0.856
24	12.27942	31.4104	0.922

Untuk pengujian asumsi residual berdistribusi normal menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov.

Hipotesis:

H_0 : $S(x) = F_0(x)$ untuk semua x (berdistribusi normal)

H_1 : $S(x) \neq F_0(x)$ untuk beberapa x (tidak berdistribusi normal)

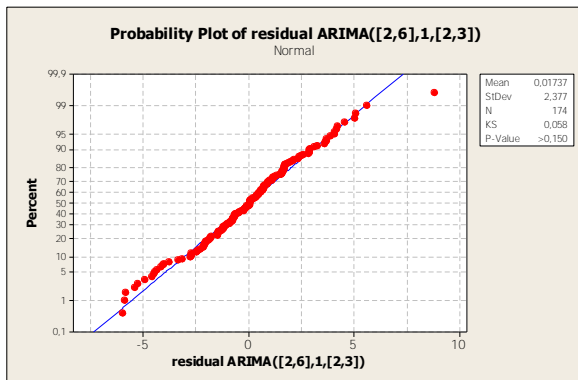
Statistik uji:

$$D_{hitung} = \sup_x |S(x) - F_0(x)|$$

$$= 0.051055$$

$$D_{0.05,174} = 0.101936$$

dengan $\alpha = 0.05$, karena $D_{hitung} < D_{0.05;174}$ maka H_0 diterima, sehingga residual model ARIMA $([2,6],1,[2,3])$ berdistribusi normal. Atau residual dapat diuji dengan menggunakan *software* Minitab 15. Karena $P\text{-value} > 0.150$ dan lebih besar dari α maka H_0 diterima artinya residual model ARIMA $([2,6],1,[2,3])$ berdistribusi normal. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Uji Normalitas Residual Model ARIMA $([2,6],1,[2,3])$

Setelah pengujian, maka perlu untuk melakukan tahap *overfitting* karena ada parameter yang tidak signifikan. Model yang dihasilkan dari hasil *overfitting* dijadikan model alternatif yang kemudian dicari model yang terbaik diantara model-model

yang lain. Adapun model-model alternatif yang diujikan adalah sebagai berikut:

1. ARIMA ([2,3],1,[2,6])
2. ARIMA (0,1,[2,3])
3. ARIMA ([2,6],1,0)
4. ARIMA ([2],1,[2,3])
5. ARIMA ([6],1,[2,3])

Untuk memilih satu model terbaik, maka dipilih model ARIMA yang memenuhi semua asumsi, yaitu parameter signifikan, residualnya memenuhi asumsi *white noise* dan berdistribusi normal, serta memiliki nilai AIC dan SBC terkecil. Hasilnya pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Estimasi Parameter

Model	Estimasi Parameter	P-value	Signifikan/tidak
ARIMA([2,3],1,[2,6])	ϕ_2	0.0176	Tidak signifikan
	ϕ_6	0.0117	
	θ_2	0.0000	
	θ_6	0.9602	
ARIMA(0,1,[2,3])	θ_2	0.0000	Signifikan
	θ_3	0.0023	
ARIMA([2,6],1,0)	ϕ_2	0.0004	Signifikan
	ϕ_6	0.0178	
ARIMA([2],1,[2,3])	ϕ_2	0.0187	Signifikan
	θ_2	0.0000	
	θ_3	0.0397	
ARIMA([6],1,[2,3])	ϕ_6	0.0484	Signifikan
	θ_2	0.0000	
	θ_3	0.0073	

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Asumsi Residual *White Noise* dan Berdistribusi Normal serta nilai AIC dan SBC

Model	Uji Asumsi <i>White Noise</i>	Uji Asumsi Normal	AIC	SBC
ARIMA ([2,3],1,[2,6])	<i>White noise</i>	Normal	4.602710	4.674488
ARIMA (0,1,[2,3])	<i>White noise</i>	Normal	4.621917	4.657395
ARIMA ([2,6],1,0)	Tidak <i>white noise</i>	Normal	4.676143	4.712454
ARIMA ([2],1,[2,3])	<i>White noise</i>	Normal	4.607168	4.660794
ARIMA ([6],1,[2,3])	<i>White noise</i>	Normal	4.600448	4.654914

Dari Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 terlihat bahwa model ARIMA([6],1,[2,3]) memenuhi semua asumsi, yaitu parameter signifikan, residual *white noise* dan berdistribusi normal, serta memiliki nilai AIC dan SBC terkecil. Sehingga ARIMA ([6],1,[2,3]) merupakan model yang terbaik.

Dengan menggunakan persamaan (2.1), diperoleh persamaan model sebagai berikut:

$$(1 - (-0.149803)B^6)(1 - B)Z_t = (1 - (0.379129B^2) - (-0.18996) B^3) a_t$$

atau

$$(1 + 0.149803 B^6)(1 - B)Z_t = (1 + 0.379129B^2 + 0.189996B^3) a_t$$

atau

$$Z_t + 0.149803B^6Z_t - BZ_t - 0.149803 B^6Z_t = a_t + 0.379129B^2a_t + 0.189996B^3a_t \text{ atau}$$

$$Z_t + 0.149803Z_{t-6} - Z_{t-1} - 0.149803 Z_{t-7} = a_t + 0.379129a_{t-2} + 0.189996 a_{t-3} \text{ atau}$$

$$Z_t = Z_{t-1} - 0.149803Z_{t-6} + 0.149803 Z_{t-7} + a_t + 0.379129a_{t-2} + 0.189996 a_{t-3}$$

Kemudian, akan dilakukan peramalan untuk 62 hari ke depan dengan *software Eviews 6*. Hasil prediksi ini nantinya akan diolah lebih lanjut dengan algoritma Filter Kalman untuk memperbaiki hasil estimasi prediksi ARIMA.

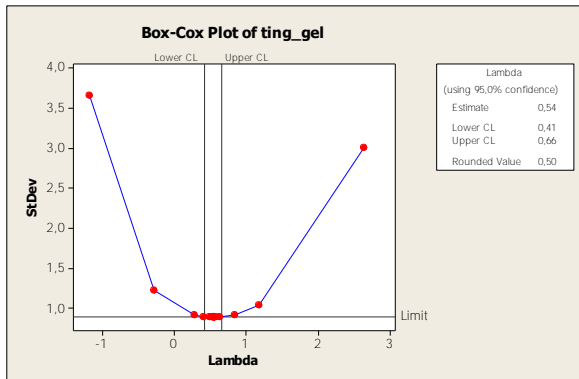
4.1.2 Analisis Model dan Peramalan Data Tinggi Gelombang

Pada subbab ini akan dilakukan analisis data *time series* tinggi gelombang sehingga diperoleh model dan peramalan yang sesuai. Data tinggi gelombang yang digunakan adalah data sekunder dari BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) II Perak Surabaya pada bulan Januari sampai dengan Agustus 2014 untuk area perairan Jawa-Banjarmasin[7]. Data tersebut dibagi dua, untuk bulan Januari sampai Juni 2014 sebagai *in sample*, sedangkan untuk bulan Juli dan Agustus 2014 sebagai *out sample*.

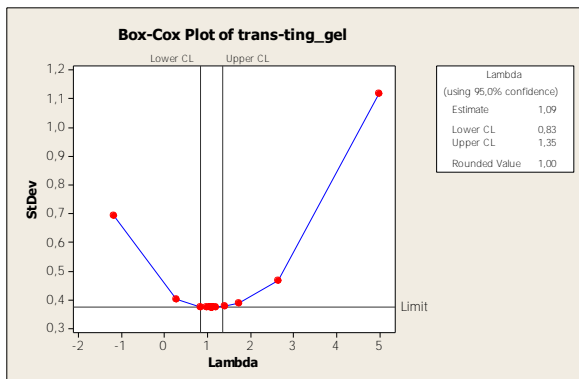
Data *in sample* tinggi gelombang kemudian diolah dengan *software Minitab 15* dan *Eviews 6*. Langkah pertama yang dilakukan adalah melihat kestasioneran data, karena syarat pembentukan model analisis *time series* adalah dengan mengasumsikan bahwa data dalam keadaan stasioner. *Time series* stasioner apabila tidak terdapat perubahan kecenderungan dalam *mean* maupun *varians*. Dengan kata lain, *time series* stasioner adalah relatif tidak terjadi kenaikan ataupun penurunan nilai secara tajam pada data[10].

Kestasioneran data terhadap *varians* dapat dilihat dari hasil Transformasi Box-Cox dimana dikatakan stasioner apabila *rounded value*-nya adalah 1[9]. Pada Gambar 4.7 dapat dilihat pada kotak dialog bahwa nilai *lambda* dengan nilai kepercayaan 95% berada diantara 0.41 dan 0.66, dengan nilai *estimate* sebesar 0.54 dan *rounded value* sebesar 0.5. Hal ini berarti, data *in sample* tinggi gelombang belum stasioner terhadap *varians* karena *rounded value* tidak sama dengan 1. Sehingga dilakukan transformasi terhadap data *in sample* tersebut. Dengan mengacu pada Tabel 2.1, maka akan dilakukan pangkat sebesar *rounded value* = 0.5 dari data awal, atau dapat ditulis $Z_t^\lambda = Z_t^{0.5} = \sqrt{Z_t}$.

Kemudian, dilakukan plot Box-Cox pada data hasil transformasi *in sample* tinggi gelombang tersebut untuk melihat apakah telah stasioner terhadap varians.

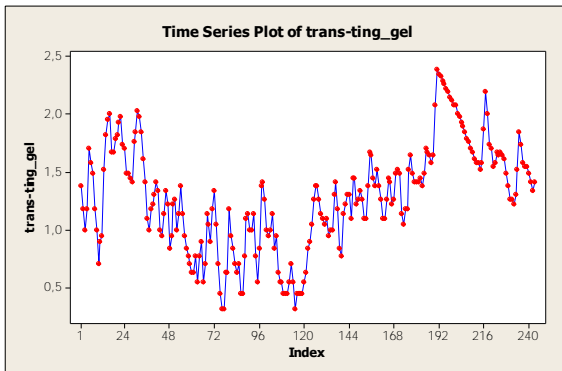


Gambar 4.7 Plot Box-Cox Data Tinggi Gelombang



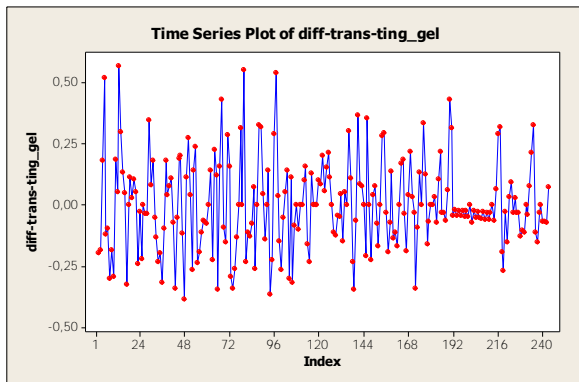
Gambar 4.8 Plot Box-Cox Data Tinggi Gelombang Hasil Transformasi

Dalam kotak dialog pada Gambar 4.8 terlihat bahwa nilai λ dengan nilai kepercayaan 95% berada diantara 0.83 dan 1.35, dengan nilai *estimate* sebesar 1.09 dan *rounded value* sebesar 1.0. Karena *rounded value* telah sama dengan 1, maka data hasil transformasi tinggi gelombang tersebut telah stasioner terhadap varians.



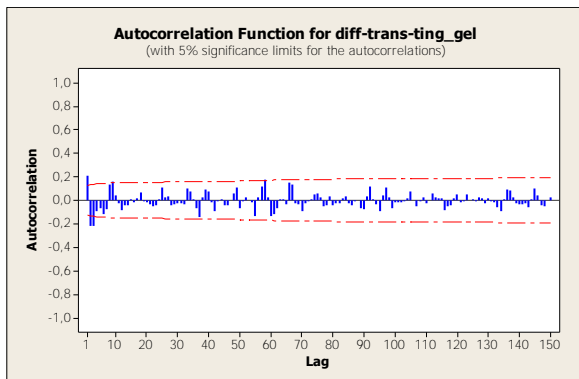
Gambar 4.9 Plot *Time Series* Data Hasil Transformasi

Kemudian, dibuat plot *time series* data hasil transformasi tinggi gelombang untuk melihat apakah data telah stasioner terhadap *mean* yang ditunjukkan pada Gambar 4.9. Terlihat bahwa data tersebut tidak pada pola yang teratur dan cenderung fluktuatif, artinya data tinggi gelombang tersebut tidak stasioner terhadap *mean*. Untuk mencapai stasioner terhadap *mean* yaitu dengan melakukan *differencing*. Setelah *differencing* pertama dilakukan, data tersebut dibuat plot *time series*. Plot *time series* data hasil *differencing* pertama dapat dilihat pada Gambar 4.10. Dari Gambar 4.10 terlihat bahwa data telah stasioner dalam *mean*, terlihat dari rata-rata deret pengamatan yang berfluktuasi di sekitar nilai tengah.

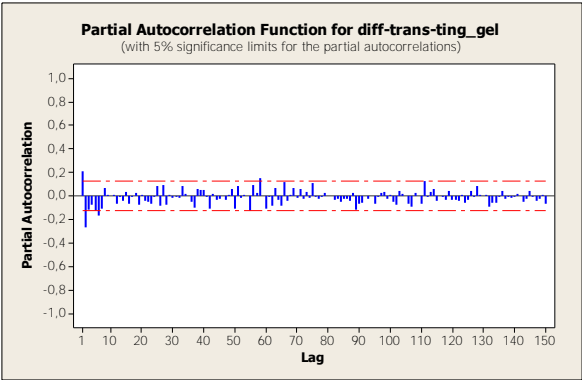


Gambar 4.10 Plot *Time Series* Data Hasil Differencing

Karena data telah stasioner terhadap *mean* dan *varians*, maka uji stasioneritas data telah selesai. Langkah selanjutnya yang dilakukan untuk pemodelan ARIMA adalah identifikasi model. Tujuannya adalah mendapatkan model ARIMA sementara untuk data tinggi gelombang. Identifikasi ini dilakukan dengan plot *time series* ACF dan PACF.



Gambar 4.11 Plot ACF Data Hasil Differencing



Gambar 4.12 Plot PACF Data Hasil Differencing

Terlihat bahwa pada Gambar 4.11 plot dari ACF keluar pada lag ke-1, 2, dan 3. Sedangkan pada Gambar 4.12 plot dari PACF keluar pada lag ke-1 dan 2. Sehingga dugaan model ARIMA sementara untuk data tinggi gelombang adalah ARIMA ([1,2],1,[1,2,3]) atau ARIMA(2,1,3). Selanjutnya dilakukan estimasi parameter dan uji kesignifikanan parameter model sementara. Estimasi parameter dibantu dengan menggunakan *software Eviews 6*. Dan uji kesignifikanan parameter menggunakan uji *t-student*. Hasil estimasi parameter ditunjukkan dalam Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Estimasi Parameter Model ARIMA(2,1,3)

Parameter	Koefisien	SE	t-stat.	P-value
AR(1)= ϕ_1	0.949666	0.595531	1.594655	0.1126
AR(2)= ϕ_2	-0.317139	0.357869	-0.886186	0.3767
MA(1)= θ_1	-0.832072	0.601919	-1.382366	0.1686
MA(2)= θ_2	-0.085264	0.309845	-0.275182	0.7835
MA(3)= θ_3	0.056099	0.251484	0.223071	0.8237

Uji kesignifikanan parameter menggunakan uji-t *student*.

1. Menguji parameter AR(1)= ϕ_1

Hipotesis:

$H_0 : \phi_1 = 0$ (parameter model tidak signifikan)

$H_1 : \phi_1 \neq 0$ (parameter model signifikan)

Statistik uji:

$$\begin{aligned} t_{hitung} &= \frac{\phi_1}{st.(\phi_1)} \\ &= \frac{0.949666}{0.595531} \\ &= 1.5946542 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{tabel} &= t_{0,025;179} \\ &= 1,97331 \end{aligned}$$

dengan $\alpha = 0.05$, karena $|t_{hitung}| < t_{0,025;179}$ maka H_0 diterima artinya parameter tidak signifikan.

2. Menguji parameter AR(2)= ϕ_2

Hipotesis:

$H_0 : \phi_2 = 0$ (parameter model tidak signifikan)

$H_1 : \phi_2 \neq 0$ (parameter model signifikan)

Statistik uji:

$$\begin{aligned} t_{hitung} &= \frac{\phi_2}{st.(\phi_2)} \\ &= \frac{-0.317139}{0.357869} \\ &= 0.8861874 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{tabel} &= t_{0,025;179} \\ &= 1,97331 \end{aligned}$$

dengan $\alpha = 0.05$, karena $|t_{hitung}| < t_{0,025;179}$ maka H_0 diterima artinya parameter tidak signifikan.

3. Menguji parameter MA(1)= θ_1

Hipotesis:

$H_0 : \theta_1 = 0$ (parameter model tidak signifikan)

$H_1 : \theta_1 \neq 0$ (parameter model signifikan)

Statistik uji:

$$\begin{aligned} t_{hitung} &= \frac{\theta_1}{st.(\theta_1)} \\ &= \frac{-0.832072}{0.601919} \\ &= 1.3823654 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{tabel} &= t_{0,025;179} \\ &= 1,97331 \end{aligned}$$

dengan $\alpha = 0.05$, karena $|t_{hitung}| < t_{0,025;179}$ maka H_0 diterima artinya parameter tidak signifikan.

4. Menguji parameter MA(2)= θ_2

Hipotesis:

$H_0 : \theta_2 = 0$ (parameter model tidak signifikan)

$H_1 : \theta_2 \neq 0$ (parameter model signifikan)

Statistik uji:

$$\begin{aligned} t_{hitung} &= \frac{\theta_2}{st.(\theta_2)} \\ &= \frac{-0.085264}{0.309845} \\ &= 0.27518275 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{tabel} &= t_{0,025;179} \\ &= 1,97331 \end{aligned}$$

dengan $\alpha = 0.05$, karena $|t_{hitung}| < t_{0,025;179}$ maka H_0 diterima artinya parameter tidak signifikan.

5. Menguji parameter MA(3) = θ_3

Hipotesis:

$H_0 : \theta_3 = 0$ (parameter model tidak signifikan)

$H_1 : \theta_3 \neq 0$ (parameter model signifikan)

Statistik uji:

$$\begin{aligned} t_{hitung} &= \frac{\theta_3}{\text{st.}(\theta_3)} \\ &= \frac{0.056099}{0.251484} \\ &= 0.22307185 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{tabel} &= t_{0,025;179} \\ &= 1,97331 \end{aligned}$$

dengan $\alpha = 0.05$, karena $|t_{hitung}| < t_{0,025;179}$ maka H_0 diterima artinya parameter tidak signifikan.

Berdasarkan pengujian kesignifikanan parameter dengan menggunakan uji *t-student*, ternyata semua parameter dalam model tidak signifikan. Sehingga diambil kesimpulan bahwa parameter model tidak signifikan. Selanjutnya asumsi yang harus dipenuhi adalah residual bersifat *white noise* dan berdistribusi normal. Pengujian asumsi *white noise* dapat dilakukan dengan menggunakan uji Ljung-Box.

Hipotesis:

$H_0 : \rho_1 = \dots = \rho_6 = 0$

$H_1 : \text{minimal ada satu } \rho_j \neq 0, \text{ dengan } j = 1, 2, \dots, 6$

Statistik Uji:

Untuk k (lag maksimum) = 6, maka:

$$\begin{aligned}
 Q &= n(n+2) \sum_{k=1}^6 \frac{\hat{\rho}_k^2}{n-k}, \quad \hat{\rho}_k \text{ autokorelasi residual lag } -k \\
 &= 181(181+2) \left(\frac{(0.006)^2}{181-1} + \frac{(0.012)^2}{181-2} + \dots + \frac{(-0.079)^2}{181-6} \right) \\
 &= 181(183)(0.00004906) \\
 &= 1.625118
 \end{aligned}$$

Dengan tabel Distribusi Chi-Kuadrat diperoleh:

$$\chi^2_{(0.05; 6-2-3)} = 3.8415$$

dengan $\alpha = 0.05$, karena $Q < \chi^2_{(0.05; 6-2-3)}$ maka H_0 diterima artinya residual bersifat *white noise*. Atau menggunakan *P-value*, karena $P\text{-value} = 0.953 > \alpha = 0.05$ maka H_0 diterima artinya residual bersifat *white noise*. Dengan metode yang sama untuk lag 12, 18, dan 24 disajikan pada Tabel 4.6 Sehingga dapat diperoleh kesimpulan bahwa residual bersifat *white noise*.

Tabel 4.6 Uji Asumsi Residual *white noise* ARIMA(2,1,3)

Lag(k)	Q-Stat	$\chi^2_{(0.05; K-p-q)}$	P-value
6	1.625118	3.8415	0.953
12	6.720697	14.0671	0.882
18	9.268993	19.6753	0.957
24	10.59098	27.5871	0.993

Untuk pengujian asumsi residual berdistribusi normal menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov.

Hipotesis:

$$H_0 : S(x) = F_0(x) \text{ untuk semua } x \text{ (berdistribusi normal)}$$

$H_1 : S(x) \neq F_0(x)$ untuk beberapa x (tidak berdistribusi normal)

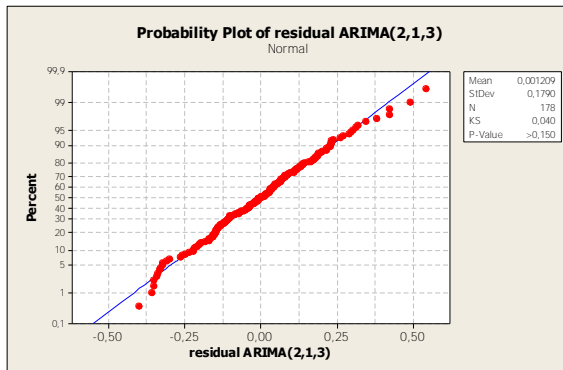
Statistik uji:

$$D_{hitung} = \sup_x |S(x) - F_0(x)|$$

$$= 0.037904$$

$$D_{0.05,178} = 0,101651$$

dengan nilai $\alpha = 0.05$, karena $D_{hitung} < D_{0.05;178}$ maka H_0 diterima, sehingga residual model ARIMA(2,1,3) berdistribusi normal. Atau residual dapat diuji dengan menggunakan *software* Minitab 15. Karena $P\text{-value} > 0.150$ dan lebih besar dari α maka H_0 diterima artinya residual model ARIMA(2,1,3) berdistribusi normal. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Uji Normalitas Residual Model ARIMA (2,1,3)

Setelah pengujian, maka perlu untuk melakukan tahap *overfitting* karena semua parameter yang diuji tidak signifikan. *Overfitting* dilakukan dengan menambahkan parameter pada model berdasarkan plot ACF dan PACF. Model yang dihasilkan

dari hasil *overfitting* dijadikan model alternatif yang kemudian dicari model yang terbaik diantara model-model yang lain. Model-model alternatif yang diujikan sebagai berikut:

1. ARIMA (3,1,2)
2. ARIMA (2,1,1)
3. ARIMA (1,1,2)

Untuk memilih satu model terbaik, maka dipilih model ARIMA yang memenuhi semua asumsi, yaitu parameter signifikan, residualnya *white noise* dan berdistribusi normal, serta memiliki nilai AIC dan SBC terkecil. Hasil pengujian estimasi parameter yang signifikan/tidak ditunjukkan pada Tabel 4.7. Untuk hasil pengujian asumsi residual *white noise* dan berdistribusi normal serta nilai AIC dan SBC pada model *overfitting* ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Estimasi Parameter

Model	Estimasi Parameter	P-value	Signifikan/tidak
ARIMA(3,1,2)	ϕ_1	0.3486	Tidak signifikan
	ϕ_2	0.6972	
	ϕ_3	0.8739	
	θ_1	0.4142	
	θ_2	0.9737	
ARIMA(2,1,1)	ϕ_1	0.0000	Signifikan
	ϕ_2	0.0000	
	θ_1	0.0000	
ARIMA(1,1,2)	ϕ_1	0.0000	Signifikan
	θ_1	0.0000	
	θ_2	0.0000	

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Asumsi Residual *White Noise* dan Berdistribusi Normal serta nilai AIC dan SBC

Model	Uji Asumsi <i>White Noise</i>	Uji Asumsi Normal	AIC	SBC
ARIMA (3,1,2)	<i>White noise</i>	Normal	-0.550564	-0.460842
ARIMA (2,1,1)	<i>White noise</i>	Normal	-0.572362	-0.518736
ARIMA (1,1,2)	<i>White noise</i>	Normal	-0.564354	-0.510934

Dari Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 terlihat bahwa model ARIMA(2,1,1) memenuhi semua asumsi, yaitu parameter signifikan, residual *white noise* dan berdistribusi normal, serta memiliki nilai AIC dan SBC terkecil. Sehingga ARIMA(2,1,1) merupakan model yang terbaik. Dengan menggunakan persamaan (2.1), diperoleh persamaan model dari data *in sample* sebagai berikut:

$$(1 - 0.938032B^1 - (-0.355992)B^2)(1 - B)Z_t^* = (1 - (-0.833987)B^1) a_t$$

atau

$$(1 - 0.938032B^1 + 0.355992B^2)(1 - B)Z_t^* = (1 + 0.833987B^1) a_t$$

atau

$$Z_t^* - 0.938032 B^1 Z_t^* + 0.355992 B^2 Z_t^* - BZ_t^* + 0.938032 B^2 Z_t^* - 0.355992 B^3 Z_t^* = a_t + 0.833987 B^1 a_t \text{ atau}$$

$$Z_t^* - 0.938032 Z_{t-1}^* + 0.355992 Z_{t-2}^* - Z_{t-1}^* + 0.938032 Z_{t-2}^* - 0.355992 Z_{t-3}^* = a_t + 0.833987 a_{t-1} \text{ atau}$$

$$Z_t^* - 1.938032 Z_{t-1}^* + 1.294024 Z_{t-2}^* - 0.355992 Z_{t-3}^* = a_t + 0.833987 a_{t-1} \text{ atau}$$

$$Z_t^* = 1.938032 Z_{t-1}^* - 1.294024 Z_{t-2}^* + 0.355992 Z_{t-3}^* + a_t + 0.833987 a_{t-1}$$

dengan $Z_t^* = Z_t^{0.5}$

Kemudian, akan dilakukan prediksi untuk 62 hari ke depan dengan *software Eviews 6*. Hasil prediksi ini nantinya akan diolah

lebih lanjut dengan algoritma Filter Kalman, tujuannya memperbaiki hasil prediksi ARIMA.

4.2 Penerapan Metode Filter Kalman dengan *Software Matlab*

Pada subbab ini dilakukan simulasi menggunakan Matlab terhadap data prediksi ARIMA kecepatan angin dan tinggi gelombang yang telah diperoleh pada subbab 4.1. Iterasi dilakukan sebanyak data hasil prediksi ARIMA, yaitu sebanyak 62 data. Nilai koefisien polinomial diestimasi dengan pengambilan beberapa orde polinomial, untuk penelitian ini diambil polinomial derajat 1, 2, dan 3. Berikut ini adalah penjelasan untuk pengambilan nilai awal pada setiap n yang berbeda beserta implementasi pada algoritma Filter Kalman.

Untuk $n = 2$, persamaan (2.3) menjadi:

$$y_i^0 = a_{0,i} + a_{1,i}m_i \text{ dengan } x(t_i) = \begin{bmatrix} a_{0,i} \\ a_{1,i} \end{bmatrix}, H_i = [1 \quad m_i]$$

Untuk $n = 3$, persamaan (2.3) menjadi:

$$y_i^0 = a_{0,i} + a_{1,i}m_i + a_{2,i}m_i^2 \text{ dengan } x(t_i) = \begin{bmatrix} a_{0,i} \\ a_{1,i} \\ a_{2,i} \end{bmatrix} \text{ dan}$$

$$H_i = [1 \quad m_i \quad m_i^2]$$

Untuk $n = 4$, persamaan (2.3) menjadi:

$$y_i^0 = a_{0,i} + a_{1,i}m_i + a_{2,i}m_i^2 + a_{3,i}m_i^3 \text{ dengan } x(t_i) = \begin{bmatrix} a_{0,i} \\ a_{1,i} \\ a_{2,i} \\ a_{3,i} \end{bmatrix}$$

$$\text{dan } H_i = [1 \quad m_i \quad m_i^2 \quad m_i^3]$$

Algoritma Filter Kalman untuk penelitian ini sebagai berikut:

Model sistem[11]:

$$x_{k+1} = Ax_k + w_k$$

$$\text{Untuk } n = 2 : \begin{bmatrix} a_{0,i} \\ a_{0,i} \end{bmatrix}_{k+1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{0,i} \\ a_{1,i} \end{bmatrix}_k + w_k$$

$$\text{Untuk } n = 3: \begin{bmatrix} a_{0,i} \\ a_{1,i} \\ a_{2,i} \end{bmatrix}_{k+1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{0,i} \\ a_{1,i} \\ a_{2,i} \end{bmatrix}_k + w_k$$

$$\text{Untuk } n = 4: \begin{bmatrix} a_{0,i} \\ a_{1,i} \\ a_{2,i} \\ a_{3,i} \end{bmatrix}_{k+1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{0,i} \\ a_{1,i} \\ a_{2,i} \\ a_{3,i} \end{bmatrix}_k + w_k$$

Model umum pengukuran[11]:

$$z_k = Hx_k$$

$$\text{Untuk } n = 2: y_i^0 = [1 \quad m_i] \begin{bmatrix} a_{0,i} \\ a_{1,i} \end{bmatrix}_k$$

$$\text{Untuk } n = 3: y_i^0 = [1 \quad m_i \quad m_i^2] \begin{bmatrix} a_{0,i} \\ a_{1,i} \\ a_{2,i} \end{bmatrix}_k$$

$$\text{Untuk } n = 4: y_i^0 = [1 \quad m_i \quad m_i^2 \quad m_i^3] \begin{bmatrix} a_{0,i} \\ a_{1,i} \\ a_{2,i} \\ a_{3,i} \end{bmatrix}_k$$

Dengan ditentukan nilai awal $Q = 0.01$ dan $Q = 1$.

$$\text{Untuk } n = 2: P_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, Qk = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot Q$$

$$\text{kecepatan angin } \hat{x}_0 = \begin{bmatrix} -15.65 \\ 15.65 \end{bmatrix} \text{ dan } \hat{x}_0 = \begin{bmatrix} 14 \\ -13 \end{bmatrix}$$

$$\text{tinggi gelombang } \hat{x}_0 = \begin{bmatrix} -3 \\ 3 \end{bmatrix} \text{ dan } \hat{x}_0 = \begin{bmatrix} -2 \\ 1.5 \end{bmatrix}$$

Untuk $n = 3$: $P_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, Qk = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot Q$

kecepatan angin $\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} -15.65 \\ 15.65 \\ -15.65 \end{bmatrix}$ dan $\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} 10 \\ -11 \\ 2 \end{bmatrix}$

tinggi gelombang $\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} -3 \\ 3 \\ -3 \end{bmatrix}$ dan $\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} 2.3 \\ -1 \\ 3 \end{bmatrix}$

Untuk $n = 4$: $P_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, Qk = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot Q$

kecepatan angin $\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} -15.65 \\ 15.65 \\ -15.65 \\ 15.65 \end{bmatrix}$ dan $\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} 10 \\ -5 \\ -15 \\ 3 \end{bmatrix}$

tinggi gelombang $\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} -3 \\ 3 \\ -3 \\ 3 \end{bmatrix}$ dan $\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} -1.65 \\ 2 \\ -3 \\ 1 \end{bmatrix}$

Tahap prediksi[11]:

$$\hat{x}_{k+1}^- = A\hat{x}_k$$

$$P_{k+1}^- = AP_k A^T + GQ_k G^T$$

Tahap koreksi[11]:

Pada tahap koreksi melibatkan Kalman gain:

$$K_{k+1} = P_{k+1}^- H_k^T (H_{k+1} P_{k+1}^- H_k^T + R_k^{-1})^{-1}$$

dengan $R = 0.01$ dan $R = 1$. Lalu \hat{x}_{k+1} diestimasi menggunakan nilai \hat{x}_{k+1}^- yang diperoleh dari tahap prediksi. z_{k+1} diasumsikan sama dengan y_i^0 yang diperoleh dari bias atau selisih antara data aktual dengan data prediksi ARIMA.

$$\hat{x}_{k+1} = \hat{x}_{k+1}^- + P_{k+1} H_{k+1}^T R_{k+1}^{-1} (z_{k+1} - H_{k+1} \hat{x}_{k+1}^-)$$

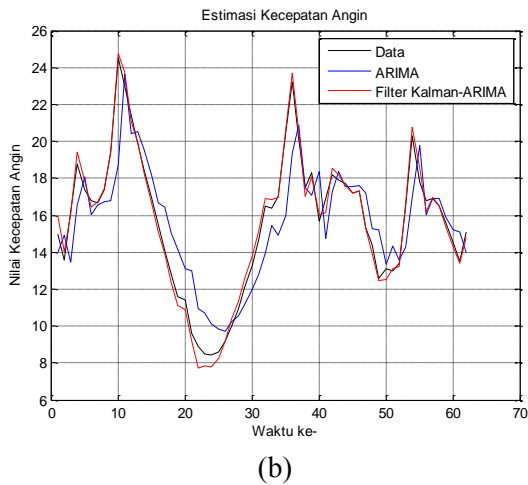
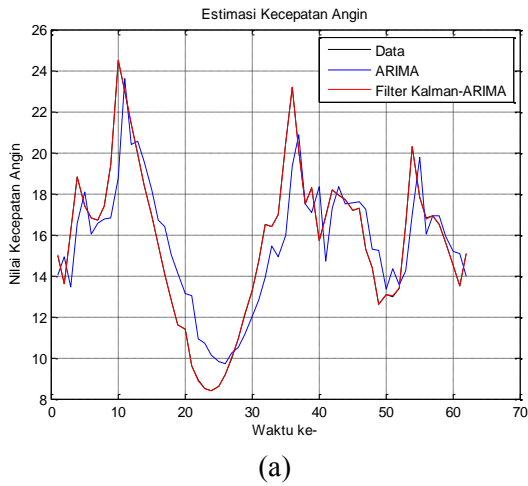
Kemudian, nilai P_{k+1} juga dicari dengan menggunakan nilai P_{k+1}^- yang telah dicari pada tahap prediksi.

$$P_{k+1} = [(P_{k+1}^-)^{-1} + H_{k+1}^T R_{k+1}^{-1} H_{k+1}]^{-1}$$

4.3 Simulasi dan Analisis Simulasi pada Data Kecepatan Angin

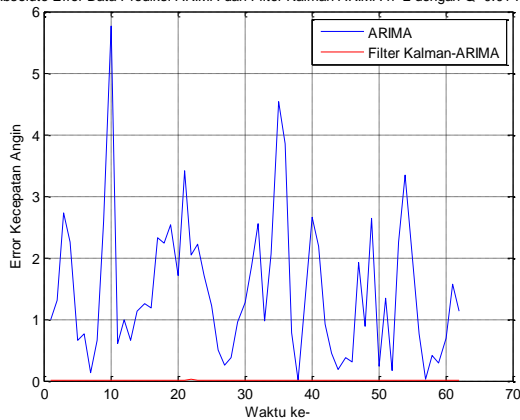
4.3.1 Simulasi Data Kecepatan Angin dengan Filter Kalman $n = 2$

Pertama akan dilakukan simulasi dan analisis simulasi ketika diambil nilai awal $\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} -15.65 \\ 15.65 \end{bmatrix}$. Nilai awal ini diuji ketika $Q = 0.01$, $Q = 1$, $R = 0.01$, serta $R = 1$. Gambar 4.14(a) menunjukkan hasil simulasi ketika $Q = 0.01$ dan $R = 0.01$. Pada gambar terlihat bahwa grafik hasil peramalan Filter Kalman sangat mendekati data aktual sehingga gambar grafik data aktual tidak terlihat dengan jelas. Sedangkan ketika diberikan $Q = 0.01$ dan $R = 1$, terlihat pada Gambar 4.14(b) bahwa dengan menggunakan algoritma Filter Kalman hasil prediksi lebih mendekati grafik data aktual namun jaraknya lebih jauh dibandingkan saat $R = 0.01$. Grafik nilai mutlak kesalahan untuk hasil prediksi ARIMA dan Filter Kalman-ARIMA pada dua kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 4.15(a) dan Gambar 4.15(b). Terlihat bahwa nilai mutlak kesalahan Filter Kalman-ARIMA jauh lebih kecil dibandingkan dengan prediksi ARIMA, dengan ditunjukkannya grafik mutlak kesalahan yang mendekati nol. Untuk nilai mutlak kesalahan dapat dilihat pada kolom 3 dan kolom 4 Tabel 1 Lampiran 3.



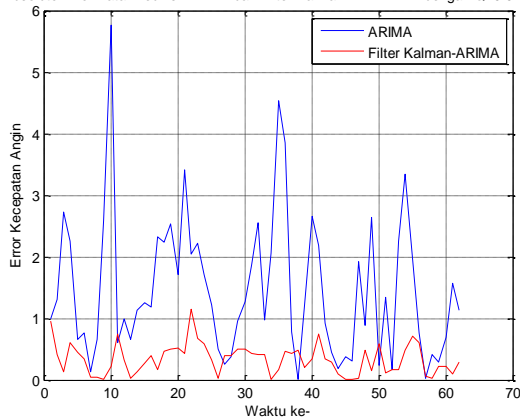
Gambar 4.14 Hasil Simulasi Kecepatan Angin pada Filter Kalman
 $n = 2$ dengan $\hat{x}_0 = [-15.65 \quad 15.65]^T$ dan
 (a) $Q = 0.01, R = 0.01$ (b) $Q = 0.01, R = 1$

Absolute Error Data Prediksi ARIMA dan Filter Kalman ARIMA $n=2$ dengan $Q=0.01$ $R=0.01$



(a)

Absolute Error Data Prediksi ARIMA dan Filter Kalman ARIMA $n=2$ dengan $Q=0.01$ $R=1$



(b)

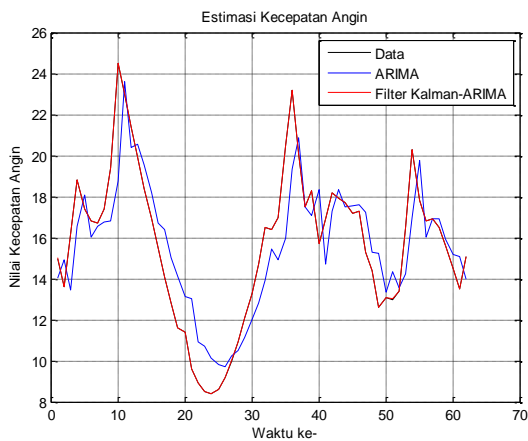
Gambar 4.15 Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Kecepatan Angin menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 2$ dengan

$$\hat{x}_0 = [-15.65 \quad 15.65]^T \text{ dan}$$

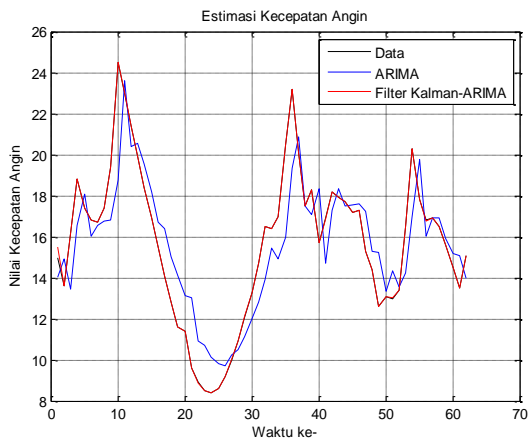
(a) $Q = 0.01$, $R = 0.01$ (b) $Q = 0.01$, $R = 1$

Kemudian dilakukan kembali simulasi dengan nilai awal yang sama yaitu $\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} -15.65 \\ 15.65 \end{bmatrix}$ ketika diberikan nilai $Q = 1$ dan $R = 0.01$, terlihat pada Gambar 4.16(a) bahwa dengan menggunakan algoritma Filter Kalman $n = 2$ hasil prediksi sangat mendekati data aktual. Sehingga menyebabkan grafik data aktual yang ditunjukkan dengan warna hitam tidak terlihat dengan jelas karena tertutupi oleh grafik data prediksi ARIMA yang ditunjukkan dengan warna merah. Hal ini menunjukkan bahwa Filter Kalman mampu memperbaiki hasil prediksi ARIMA. Selanjutnya dilakukan pengujian ketika diberikan $Q = 1$ dan nilai R diubah menjadi 1. Terlihat pada Gambar 4.16(b) bahwa hasil prediksi Filter Kalman $n = 2$ juga sangat mendekati data aktual. Meskipun grafik data aktual masih samar-samar terlihat. Grafik nilai mutlak kesalahan untuk hasil prediksi ARIMA dan Filter Kalman-ARIMA pada dua kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 4.17(a) dan Gambar 4.17(b). Dari kedua gambar terlihat bahwa grafik semakin mendekati nol, sehingga nilai prediksi Filter Kalman-ARIMA sangat mendekati data aktual. Sedangkan nilai mutlak kesalahan dari prediksi ARIMA dan Filter Kalman-ARIMA dengan setiap Q dan R dapat dilihat pada kolom 5 dan kolom 6 Tabel 1 Lampiran 3.

Berikutnya dilakukan pengujian kembali Filter Kalman dengan $n = 2$ untuk data kecepatan angin, namun dengan pengambilan nilai awal yang berbeda, yaitu ketika diambil nilai awal $\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} 14 \\ -13 \end{bmatrix}$. Nilai Q dan R yang diambil juga sama yaitu 0.01 dan 1. Nilai Q dan R divariasikan untuk kedua nilai tersebut. Hasil grafik perbandingan antara data aktual, prediksi ARIMA, dan Filter Kalman-ARIMA dapat dilihat pada Gambar 1 Lampiran 4. Dan grafik nilai mutlak kesalahan untuk hasil prediksi ARIMA dan Filter Kalman-ARIMA pada dua kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 1 Lampiran 5.



(a)

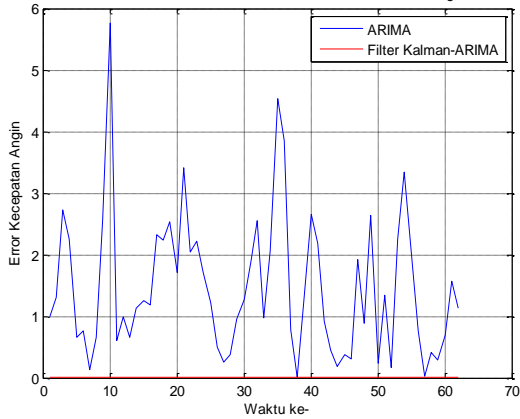


(b)

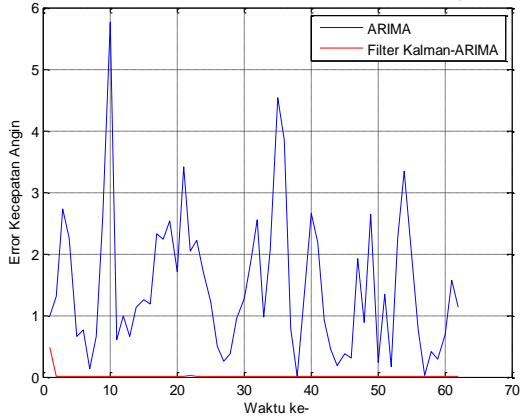
Gambar 4.16 Hasil Simulasi Kecepatan Angin pada Filter Kalman

$n = 2$ dengan $\hat{x}_0 = [-15.65 \quad 15.65]^T$ dan

(a) $Q = 1, R = 0.01$ (b) $Q = 1, R = 1$

Absolute Error Data Prediksi ARIMA dan Filter Kalman ARIMA $n=2$ dengan $Q=1$ $R=0.01$ 

(a)

Absolute Error Data Prediksi ARIMA dan Filter Kalman ARIMA $n=2$ dengan $Q=1$ $R=1$ 

(b)

Gambar 4.17 Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Kecepatan Angin menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 2$ dengan

$$\hat{x}_0 = [-15.65 \quad 15.65]^T \text{ dan}$$

(a) $Q = 1, R = 0.01$ (b) $Q = 1, R = 1$

4.3.2 Simulasi Data Kecepatan Angin dengan Filter Kalman $n = 3$

Simulasi dan analisis simulasi ketika diberikan nilai awal

$$\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} -15.65 \\ 15.65 \\ -15.65 \end{bmatrix}. \text{ Nilai awal ini diuji ketika } Q = 0.01, Q = 1,$$

$R = 0.01$, serta $R = 1$. Pada Gambar 4.18(a) yaitu saat $Q = 0.01$ dan $R = 0.01$, terlihat bahwa hasil Filter Kalman $n = 3$ sangat mendekati data aktual. Sedangkan ketika diberikan $Q = 0.01$ dan $R = 1$, terlihat pada Gambar 4.18(b) bahwa dengan menggunakan algoritma Filter Kalman hasil prediksi lebih mendekati grafik data aktual, meskipun tidak lebih dekat dibanding saat $R = 0.01$. Grafik nilai mutlak kesalahan untuk hasil Filter Kalman-ARIMA juga lebih mendekati nol dibanding grafik prediksi ARIMA. Grafik nilai mutlak kesalahan untuk hasil prediksi ARIMA dan Filter Kalman-ARIMA pada dua kondisi ini dapat dilihat pada pada dua kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 4.19(a) dan Gambar 4.19(b), sedangkan nilainya dapat dilihat pada kolom 3 dan kolom 4 Tabel 2 Lampiran 3.

Kemudian dilakukan kembali simulasi ketika diberikan $Q = 1$ dan $R = 0.01$, terlihat pada Gambar 4.20(a) bahwa dengan menggunakan algoritma Filter Kalman dengan $n = 3$ hasil prediksi sangat mendekati data aktual. Sedangkan ketika diberikan $Q = 1$ dan $R = 1$, terlihat pada Gambar 4.20(b) bahwa hasil prediksi Filter Kalman $n = 3$ sangat mendekati data aktual. Sehingga grafik dari data aktual hampir tak terlihat. Dan jaraknya lebih jauh dibandingkan saat $R = 0.01$. Grafik nilai mutlak kesalahan untuk hasil prediksi Filter Kalman-ARIMA dapat dilihat pada Gambar 4.21(a) dan Gambar 4.21(b), sedangkan nilai mutlak kesalahan dapat dilihat pada kolom 5 dan kolom 6 Tabel 2 Lampiran 3.

Selanjutnya dilakukan pengujian kembali Filter Kalman $n = 3$ untuk data kecepatan angin dengan pengambilan nilai awal

$$\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} 10 \\ -11 \\ 2 \end{bmatrix}. \text{ Hasil grafik perbandingan data aktual, prediksi}$$

ARIMA, prediksi Filter Kalman-ARIMA dapat dilihat pada Gambar 2 Lampiran 4. Sedangkan grafik nilai mutlak kesalahan prediksi untuk pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 2 Lampiran 5.

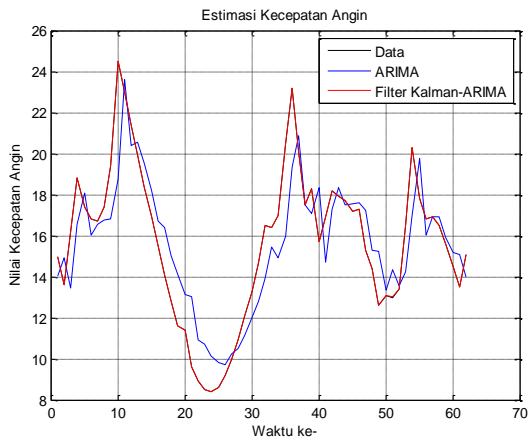
4.3.3 Simulasi Data Kecepatan Angin dengan Filter Kalman $n = 4$

Simulasi dan analisis simulasi ketika diberikan nilai awal

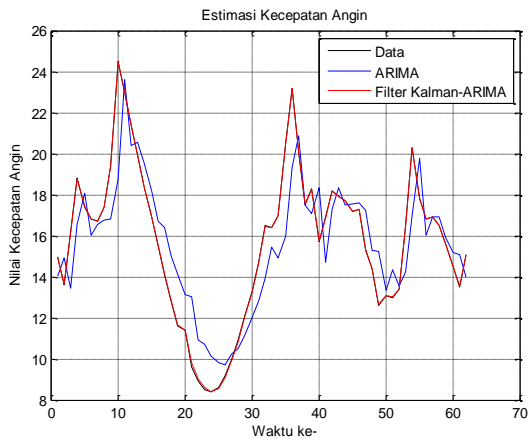
$$\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} -15.65 \\ 15.65 \\ -15.65 \\ 15.65 \end{bmatrix}. \text{ Nilai awal ini diuji ketika } Q = 0.01, Q = 1,$$

$R = 0.01$, serta $R = 1$. Gambar 4.22(a) menunjukkan hasil simulasi ketika $Q = 0.01$ dan $R = 0.01$. Terlihat pada Gambar 4.22(a) bahwa grafik hasil prediksi sangat mendekati data aktual. Sedangkan ketika diberikan $Q = 0.01$ dan $R = 1$, terlihat pada Gambar 4.22(b) bahwa hasil prediksi sangat mendekati data aktual. Grafik nilai mutlak kesalahan untuk hasil prediksi ARIMA dan Filter Kalman-ARIMA pada dua kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 4.23(a) dan Gambar 4.23(b), sedangkan nilai mutlak kesalahan pada kolom 3 dan kolom 4 Tabel 3 Lampiran 3.

Kemudian dilakukan kembali simulasi ketika diberikan $Q = 1$ dan $R = 0.01$, terlihat pada Gambar 4.24(a) bahwa dengan menggunakan algoritma Filter Kalman hasil prediksi sangat mendekati data aktual. Sedangkan ketika diberikan $Q = 1$ dan $R = 1$, terlihat pada Gambar 4.24(b) bahwa hasil prediksi Filter Kalman $n = 4$ juga sangat mendekati data aktual. Grafik nilai mutlak kesalahan untuk hasil prediksi ARIMA dan prediksi Filter Kalman-ARIMA pada dua kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 4.25(a) dan Gambar 4.25(b), sedangkan nilai mutlak kesalahan dapat dilihat pada kolom 5 dan 6 Tabel 3 Lampiran 3.



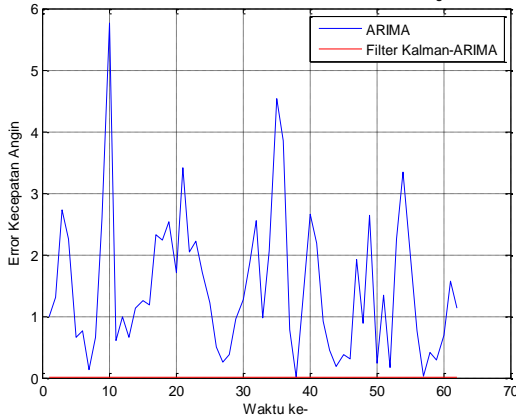
(a)



(b)

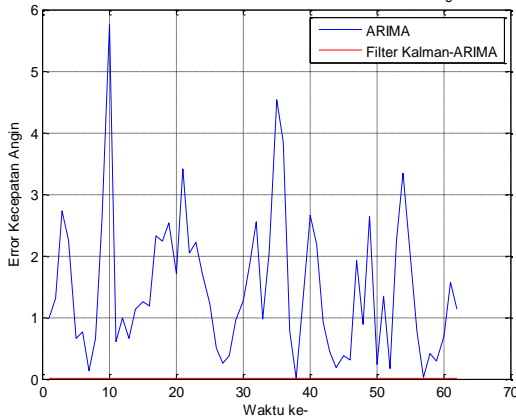
Gambar 4.18 Hasil Simulasi Kecepatan Angin pada Filter Kalman
 $n = 3$ dengan $\hat{x}_0 = [-15.65 \ 15.65 \ -15.65]^T$ dan
 (a) $Q = 0.01, R = 0.01$ (b) $Q = 0.01, R = 1$

Absolute Error Data Prediksi ARIMA dan Filter Kalman ARIMA $n=3$ dengan $Q=0.01$ $R=0.01$



(a)

Absolute Error Data Prediksi ARIMA dan Filter Kalman ARIMA $n=3$ dengan $Q=0.01$ $R=1$

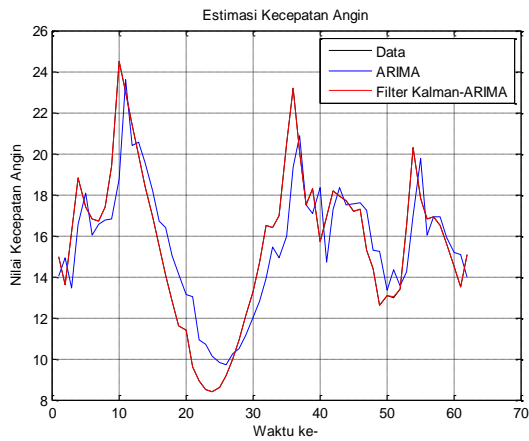


(b)

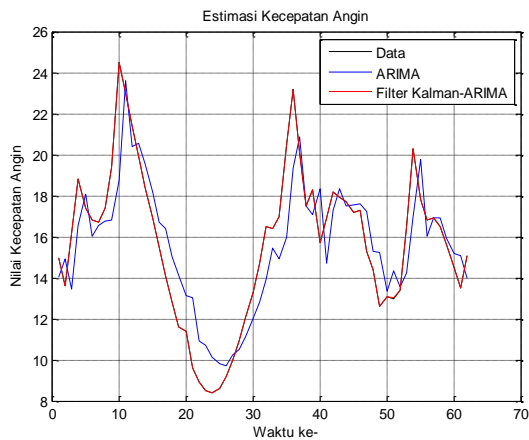
Gambar 4.19 Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Kecepatan Angin menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 3$ dengan

$$\hat{x}_0 = [-15.65 \quad 15.65 \quad -15.65]^T \text{ dan}$$

(a) $Q = 0.01$, $R = 0.01$ (b) $Q = 0.01$, $R = 1$



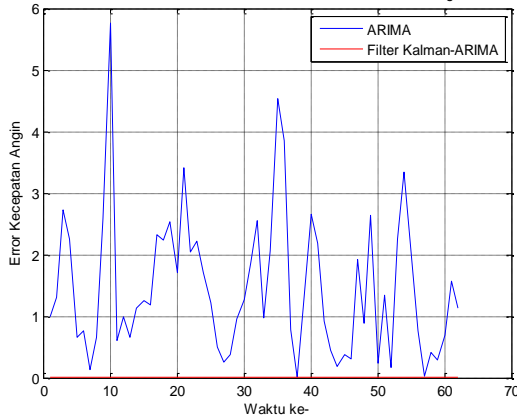
(a)



(b)

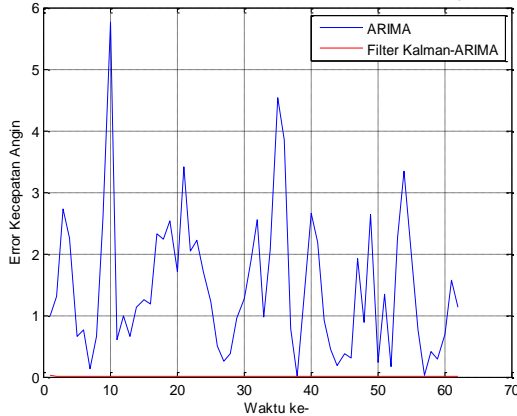
Gambar 4.20 Hasil Simulasi Kecepatan Angin pada Filter Kalman $n = 3$ dengan $\hat{x}_0 = [-15.65 \ 15.65 \ -15.65]^T$ dan
 (a) $Q = 1, R = 0.01$ (b) $Q = 1, R = 1$

Absolute Error Data Prediksi ARIMA dan Filter Kalman ARIMA $n=3$ dengan $Q=1$ $R=0.01$



(a)

Absolute Error Data Prediksi ARIMA dan Filter Kalman ARIMA $n=3$ dengan $Q=1$ $R=1$

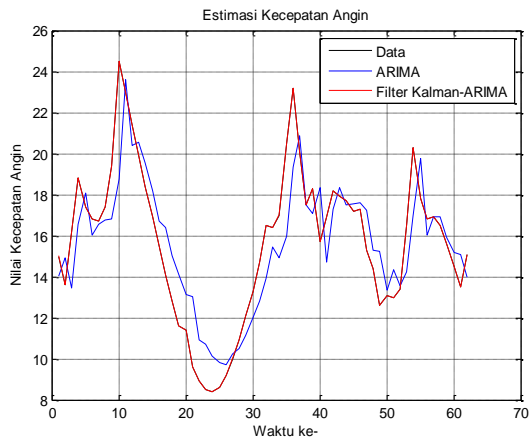


(b)

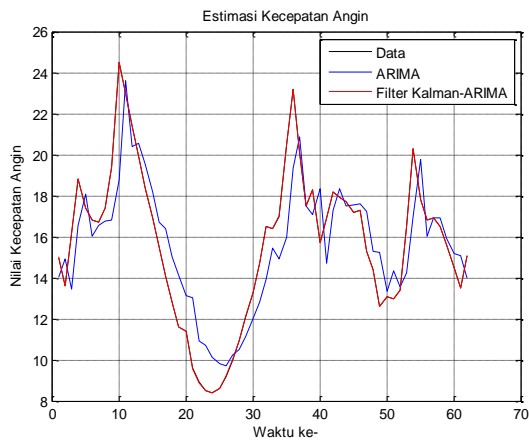
Gambar 4.21 Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Kecepatan Angin menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 3$ dengan

$$\hat{x}_0 = [-15.65 \quad 15.65 \quad -15.65]^T \text{ dan}$$

(a) $Q = 1, R = 0.01$ (b) $Q = 1, R = 1$



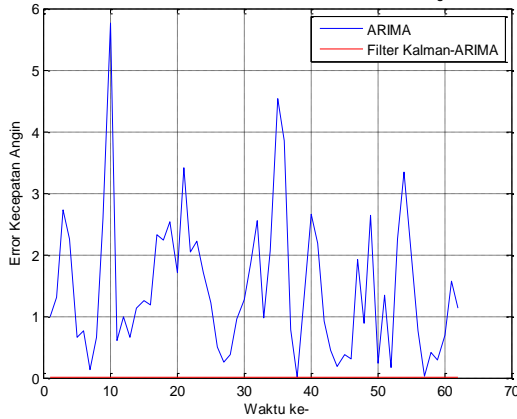
(a)



(b)

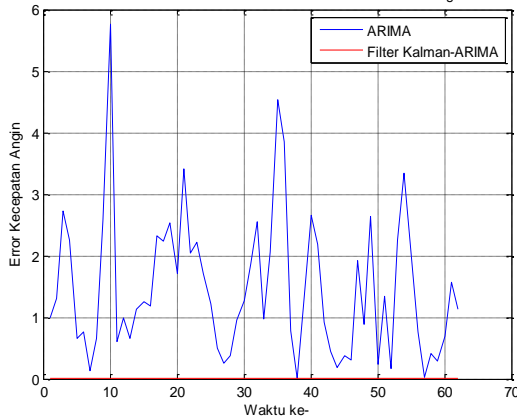
Gambar 4.22 Hasil Simulasi Kecepatan Angin pada Filter Kalman $n = 4$ dengan $\hat{x}_0 = [-15.65 \ 15.65 \ -15.65 \ 15.65]^T$ dan
 (a) $Q = 0.01, R = 0.01$ (b) $Q = 0.01, R = 1$

Absolute Error Data Prediksi ARIMA dan Filter Kalman ARIMA $n=4$ dengan $Q=0.01$ $R=0.01$



(a)

Absolute Error Data Prediksi ARIMA dan Filter Kalman ARIMA $n=4$ dengan $Q=0.01$ $R=1$

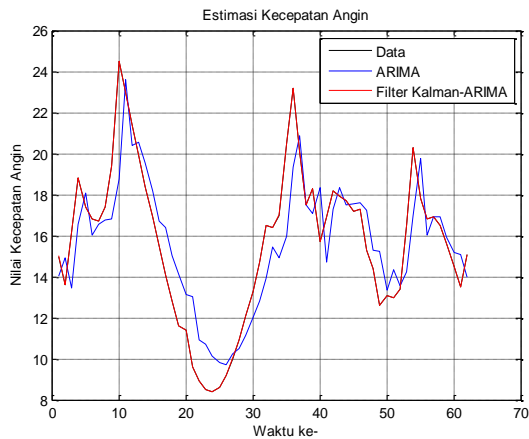


(b)

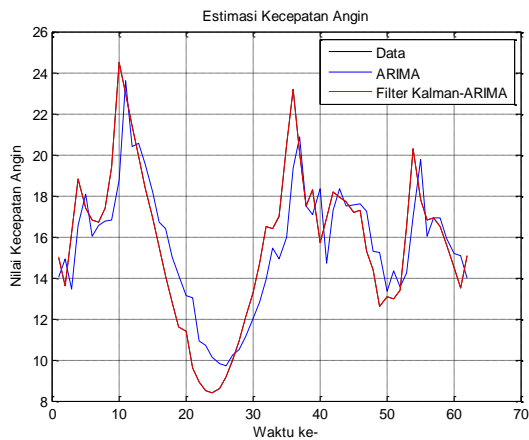
Gambar 4.23 Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Kecepatan Angin menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 4$ dengan

$$\hat{x}_0 = [-15.65 \quad 15.65 \quad -15.65 \quad 15.65]^T \text{ dan}$$

(a) $Q = 0.01$, $R = 0.01$ (b) $Q = 0.01$, $R = 1$

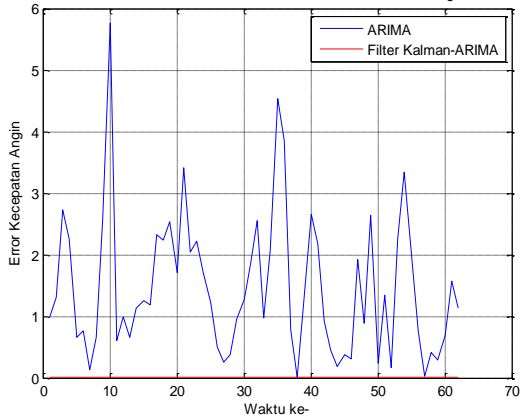


(a)

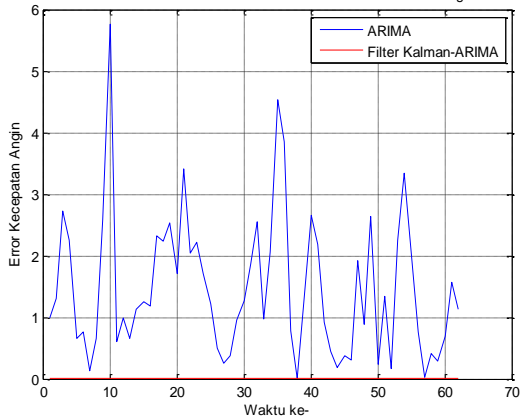


(b)

Gambar 4.24 Hasil Simulasi Kecepatan Angin pada Filter Kalman $n = 4$ dengan $\hat{x}_0 = [-15.65 \quad 15.65 \quad -15.65 \quad 15.65]^T$ dan
 (a) $Q = 1, R = 0.01$ (b) $Q = 1, R = 1$

Absolute Error Data Prediksi ARIMA dan Filter Kalman ARIMA $n=4$ dengan $Q=1$ $R=0.01$ 

(a)

Absolute Error Data Prediksi ARIMA dan Filter Kalman ARIMA $n=4$ dengan $Q=1$ $R=1$ 

(b)

Gambar 4.25 Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Kecepatan Angin menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 4$ dengan

$$\hat{x}_0 = [-15.65 \quad 15.65 \quad -15.65 \quad 15.65]^T \text{ dan}$$

(a) $Q = 1, R = 0.01$ (b) $Q = 1, R = 1$

Lalu, dilakukan pengujian kembali Filter Kalman $n = 4$ untuk data kecepatan angin, namun dengan pengambilan nilai awal

$$\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} 10 \\ -5 \\ -15 \\ 3 \end{bmatrix}. \text{ Hasil grafik perbandingan antara data aktual,}$$

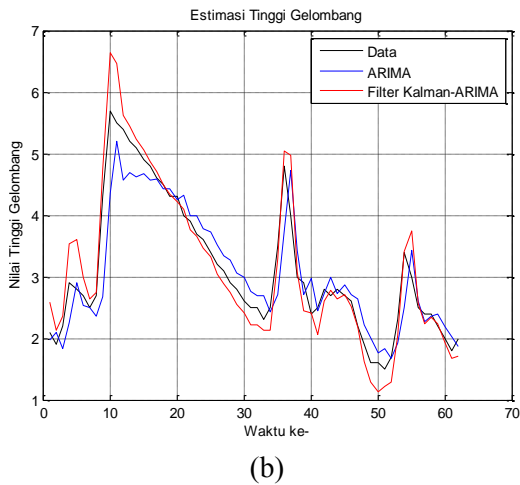
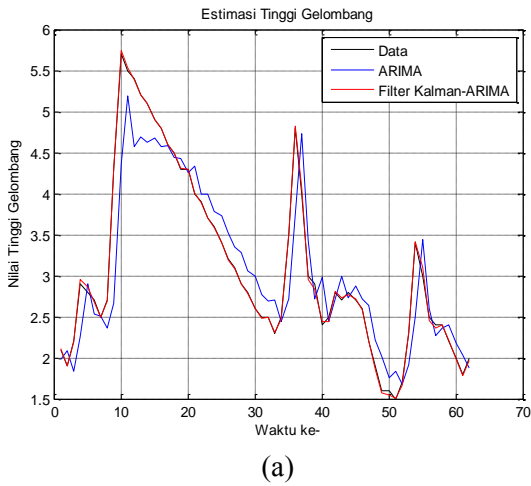
prediksi ARIMA, Filter Kalman-ARIMA dapat dilihat pada Gambar 3 Lampiran 4. Dan grafik nilai mutlak kesalahan prediksi untuk pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 3 Lampiran 5.

4.4 Simulasi dan Analisis Simulasi pada Data Tinggi Gelombang

4.4.1 Simulasi Data Tinggi Gelombang dengan Filter Kalman $n = 2$

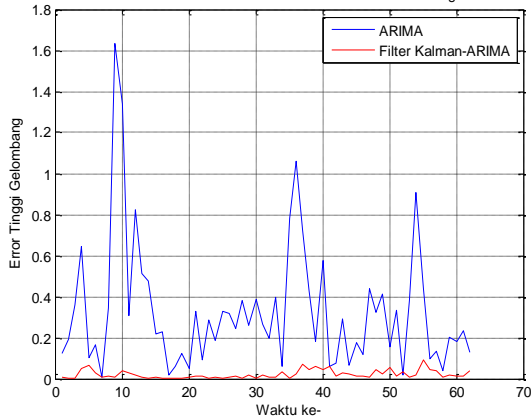
Simulasi dilakukan untuk nilai awal $\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} -3 \\ 3 \end{bmatrix}$. Nilai awal diuji ketika $Q = 0.01$, $Q = 1$, $R = 0.01$, serta $R = 1$. Gambar 4.26(a) menunjukkan hasil simulasi ketika $Q = 0.01$ dan $R = 0.01$. Hasil Filter Kalman sangat mendekati data aktual. Gambar 4.26(b) menunjukkan hasil ketika $Q = 0.01$ dan $R = 1$, hasil prediksi lebih mendekati grafik data aktual, meskipun tidak sebaik saat $R = 0.01$. Grafik nilai mutlak kesalahan hasil prediksi ARIMA dan Filter Kalman-ARIMA pada dua kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 4.27(a) dan Gambar 4.27(b), untuk nilainya pada kolom 3 dan kolom 4 Tabel 4 Lampiran 3.

Kemudian dilakukan kembali simulasi ketika diberikan $Q = 1$ dan $R = 0.01$, terlihat pada Gambar 4.28(a) bahwa hasil prediksi sangat mendekati data aktual. Sedangkan ketika diberikan $Q = 1$ dan $R = 1$, terlihat pada Gambar 4.28(b) bahwa hasil prediksi Filter Kalman $n = 2$ juga sangat mendekati data aktual. Grafik nilai mutlak kesalahan untuk prediksi ARIMA dan Filter Kalman-ARIMA pada dua kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 4.29(a) dan Gambar 4.29(b), sedangkan nilainya dapat dilihat pada kolom 5 dan kolom 6 Tabel 4 Lampiran 3.



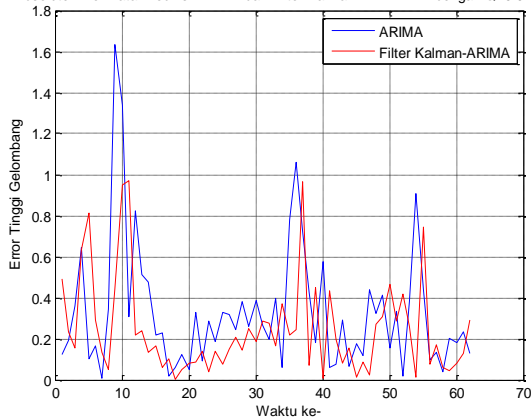
Gambar 4.26 Hasil Simulasi Tinggi Gelombang pada Filter Kalman $n = 2$ dengan $\hat{x}_0 = [-3 \ 3]^T$ dan
 (a) $Q = 0.01, R = 0.01$ (b) $Q = 0.01, R = 1$

Absolute Error Data Prediksi ARIMA dan Filter Kalman ARIMA $n=2$ dengan $Q=0.01$ $R=0.01$



(a)

Absolute Error Data Prediksi ARIMA dan Filter Kalman ARIMA $n=2$ dengan $Q=0.01$ $R=1$

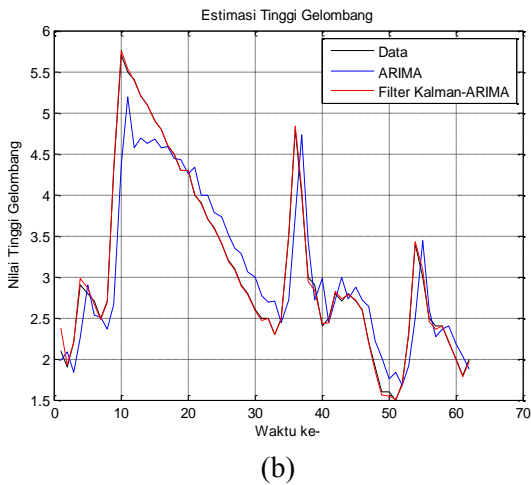
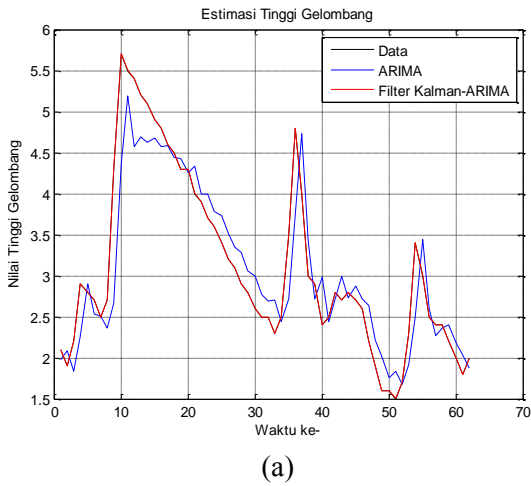


(b)

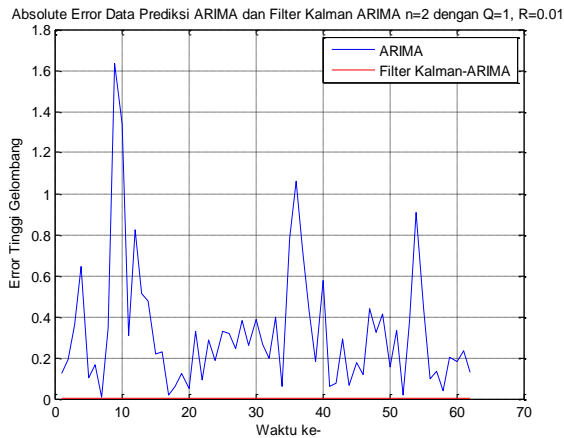
Gambar 4.27 Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Tinggi Gelombang menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 2$ dengan

$$\hat{x}_0 = [-3 \quad 3]^T \text{ dan}$$

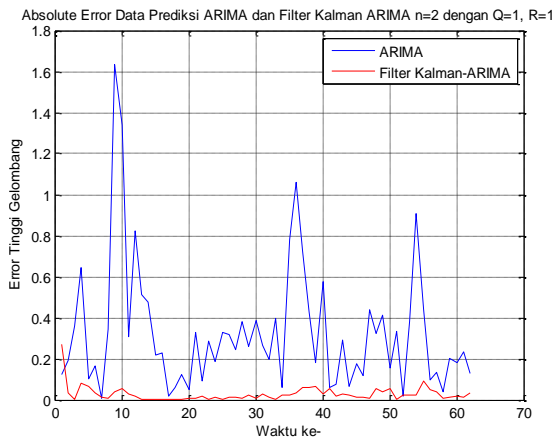
(a) $Q = 0.01$, $R = 0.01$ (b) $Q = 0.01$, $R = 1$



Gambar 4.28 Hasil Simulasi Tinggi Gelombang pada Filter Kalman $n = 2$ dengan $\hat{x}_0 = [-3 \ 3]^T$ dan
 (a) $Q = 1, R = 0.01$ (b) $Q = 1, R = 1$



(a)



(b)

Gambar 4.29 Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Tinggi Gelombang menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 2$ dengan

$$\hat{x}_0 = [-3 \quad 3]^T \text{ dan}$$

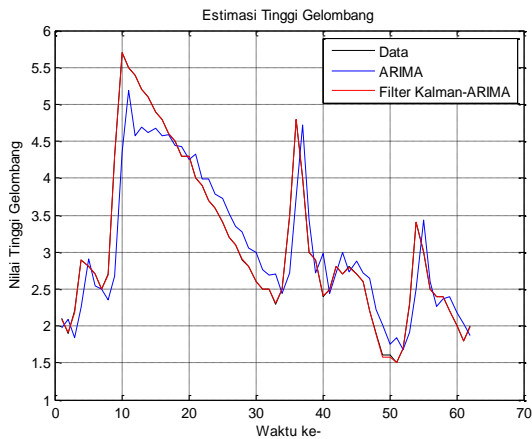
$$(a) Q = 1, R = 0.01 \quad (b) Q = 1, R = 1$$

Lalu, dilakukan pengujian kembali Filter Kalman $n = 2$ untuk data tinggi gelombang, namun dengan pengambilan nilai awal $\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} -2 \\ 1.5 \end{bmatrix}$. Hasil grafik perbandingan antara data aktual, prediksi ARIMA, Filter Kalman-ARIMA dapat dilihat di Gambar 4 Lampiran 4 serta grafik nilai mutlak kesalahan prediksi untuk pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 4 Lampiran 5.

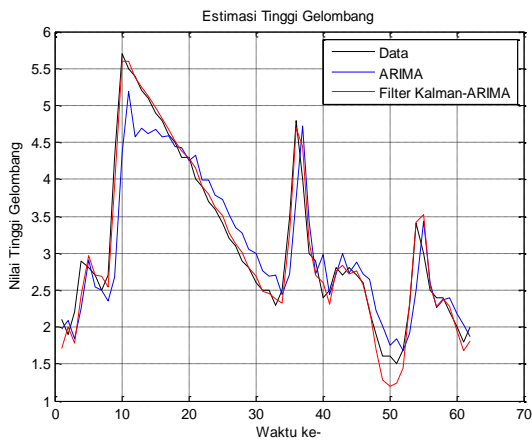
4.4.2 Simulasi Data Tinggi Gelombang dengan Filter Kalman $n = 3$

Simulasi dan analisis simulasi dilakukan ketika nilai awal $\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} -3 \\ 3 \\ -3 \end{bmatrix}$. Nilai ini diuji ketika $Q = 0.01$, $Q = 1$, $R = 0.01$, serta $R = 1$. Gambar 4.30(a) menunjukkan hasil simulasi ketika $Q = 0.01$ dan $R = 0.01$. Terlihat pada Gambar 4.30(a) hasil prediksi Filter Kalman sangat mendekati data aktual. Sedangkan saat diberikan $Q = 0.01$ dan $R = 1$, terlihat pada Gambar 4.30(b) bahwa hasil prediksi lebih mendekati grafik data aktual, meskipun tidak sebaik saat diberikan $R = 0.01$. Grafik nilai mutlak kesalahan untuk hasil prediksi ARIMA dan Filter Kalman-ARIMA pada dua kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 4.31(a) dan Gambar 4.31(b), sedangkan nilai mutlak kesalahan dapat dilihat pada kolom 3 dan kolom 4 Tabel 5 Lampiran 3.

Kemudian dilakukan kembali simulasi ketika diberikan $Q = 1$ dan $R = 0.01$, terlihat pada Gambar 4.32(a) bahwa dengan menggunakan algoritma Filter Kalman hasil prediksi sangat mendekati data aktual. Sedangkan ketika diberikan $Q = 1$ dan $R = 1$, terlihat pada Gambar 4.32(b) bahwa hasil peramalan Filter Kalman $n = 3$ juga sangat mendekati data aktual. Grafik nilai mutlak kesalahan untuk hasil prediksi ARIMA dan Filter Kalman-ARIMA pada dua kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 4.33(a) dan Gambar 4.33(b), sedangkan nilainya dapat dilihat pada kolom 5 dan kolom 6 Tabel 5 Lampiran 3.



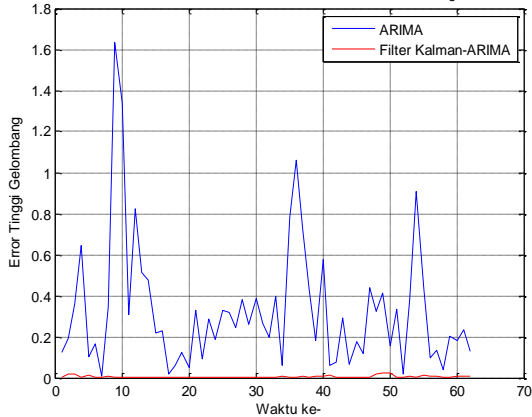
(a)



(b)

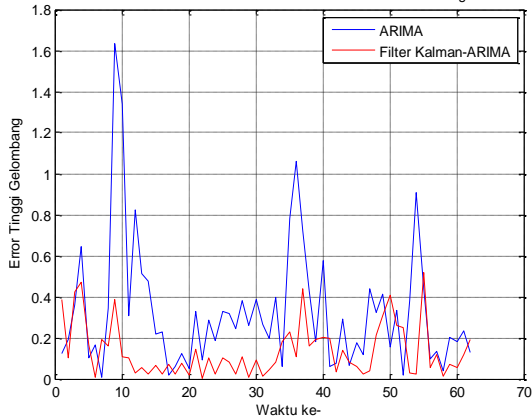
Gambar 4.30 Hasil Simulasi Tinggi Gelombang pada Filter Kalman $n = 3$ dengan $\hat{x}_0 = [-3 \ 3 \ -3]^T$ dan
 (a) $Q = 0.01, R = 0.01$ (b) $Q = 0.01, R = 1$

Absolute Error Data Prediksi ARIMA dan Filter Kalman ARIMA $n=3$ dengan $Q=0.01$ $R=0.01$



(a)

Absolute Error Data Prediksi ARIMA dan Filter Kalman ARIMA $n=3$ dengan $Q=0.01$ $R=1$

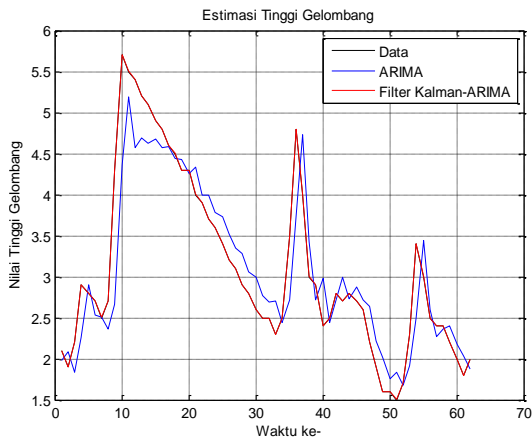


(b)

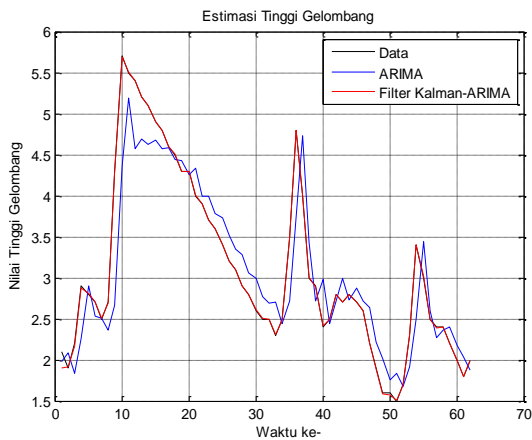
Gambar 4.31 Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Tinggi Gelombang menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 3$ dengan

$$\hat{x}_0 = [-3 \quad 3 \quad -3]^T \text{ dan}$$

(a) $Q = 0.01, R = 0.01$ (b) $Q = 0.01, R = 1$

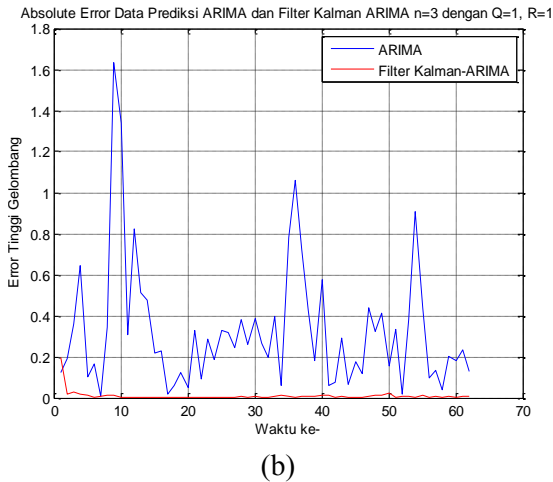
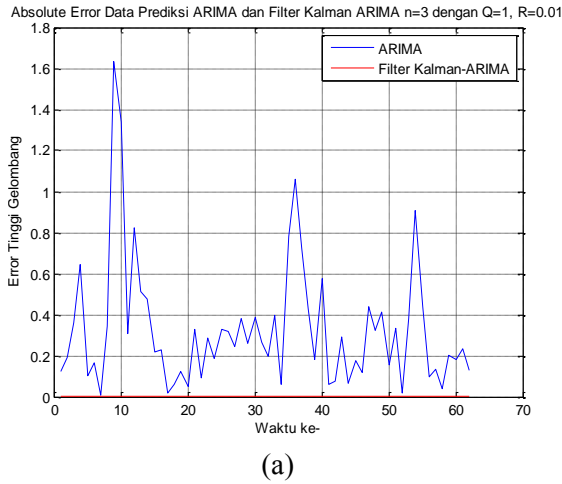


(a)



(b)

Gambar 4.32 Hasil Simulasi Tinggi Gelombang pada Filter Kalman $n = 3$ dengan $\hat{x}_0 = [-3 \ 3 \ -3]^T$ dan
 (a) $Q = 1, R = 0.01$ (b) $Q = 1, R = 1$



Gambar 4.33 Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Tinggi Gelombang menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 3$ dengan

$$\hat{x}_0 = [-3 \quad 3 \quad -3]^T \text{ dan}$$

(a) $Q = 1$, $R = 0.01$ (b) $Q = 1$, $R = 1$

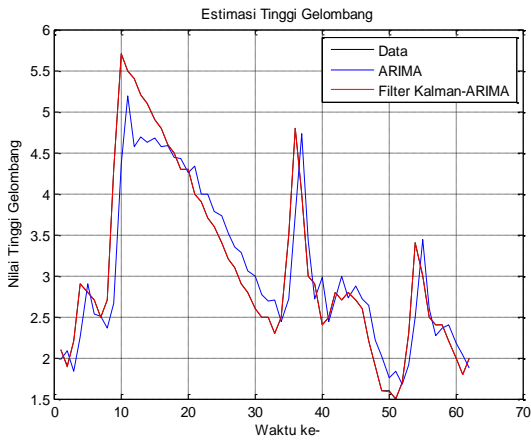
Kemudian, dilakukan pengujian Filter Kalman $n = 3$ untuk data tinggi gelombang, dengan pengambilan nilai awal $\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} 2.3 \\ -1 \\ 3 \end{bmatrix}$. Hasil grafik perbandingan antara data aktual, prediksi ARIMA, Filter Kalman-ARIMA dapat dilihat di Gambar 5 Lampiran 4, serta grafik nilai mutlak kesalahan prediksi untuk pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 5 Lampiran 5.

4.4.3 Simulasi Data Tinggi Gelombang dengan Filter Kalman $n = 4$

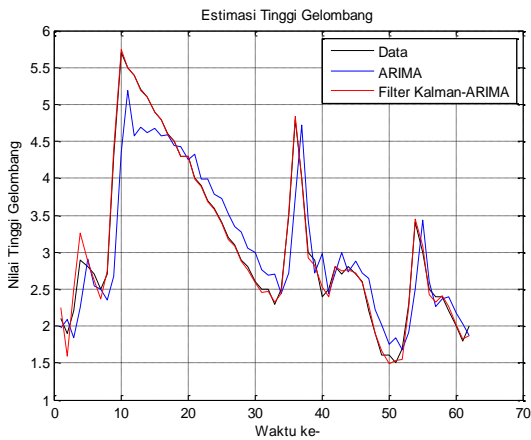
Simulasi dilakukan ketika $\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} -3 \\ 3 \\ -3 \\ 3 \end{bmatrix}$. Ketika diberikan

$Q = 0.01$ dan $R = 0.01$, terlihat pada Gambar 4.34(a) bahwa hasil grafik Filter Kalman $n = 4$ sangat mendekati data aktual. Selanjutnya, ketika diberikan $Q = 0.01$ dan $R = 1$, terlihat pada Gambar 4.34(b) bahwa dengan menggunakan algoritma Filter Kalman hasil prediksi lebih mendekati grafik data aktual, meskipun tidak sebaik $R = 0.01$. Grafik nilai mutlak kesalahan untuk hasil prediksi ARIMA dan Filter Kalman-ARIMA dapat dilihat pada Gambar 4.35(a) dan Gambar 4.35(b), nilainya dapat dilihat pada kolom 3 dan kolom 4 Tabel 6 Lampiran 3.

Kemudian dilakukan kembali simulasi ketika diberikan $Q = 1$ dan $R = 0.01$, terlihat pada Gambar 4.36(a) bahwa dengan menggunakan algoritma Filter Kalman hasil prediksi sangat mendekati data aktual. Sedangkan ketika diberikan $Q = 1$ dan $R = 1$, terlihat pada Gambar 4.36(b) bahwa hasil prediksi Filter Kalman $n = 4$ juga sangat mendekati data aktual. Grafik nilai mutlak kesalahan untuk hasil prediksi ARIMA dan Filter Kalman-ARIMA pada dua kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 4.37(a) dan Gambar 4.37(b), sedangkan nilainya dapat dilihat pada kolom 5 dan kolom 6 Tabel 6 Lampiran 3.



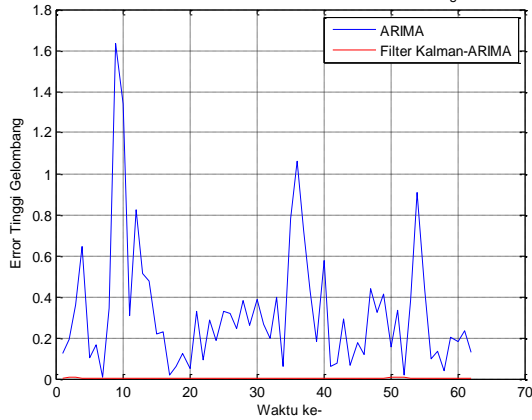
(a)



(b)

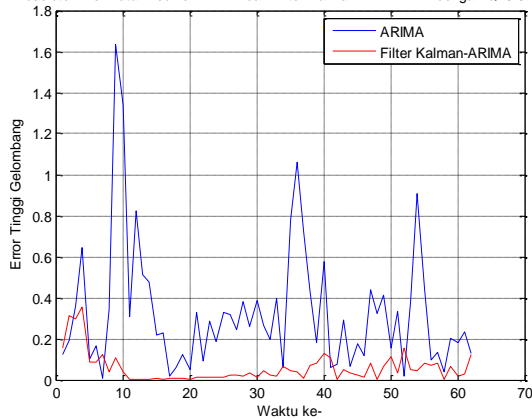
Gambar 4.34 Hasil Simulasi Tinggi Gelombang pada Filter Kalman $n = 4$ dengan $\hat{x}_0 = [-3 \ 3 \ -3 \ 3]^T$ dan
 (a) $Q = 0.01$, $R = 0.01$ (b) $Q = 0.01$, $R = 1$

Absolute Error Data Prediksi ARIMA dan Filter Kalman ARIMA $n=4$ dengan $Q=0.01$ $R=0.01$



(a)

Absolute Error Data Prediksi ARIMA dan Filter Kalman ARIMA $n=4$ dengan $Q=0.01$ $R=1$

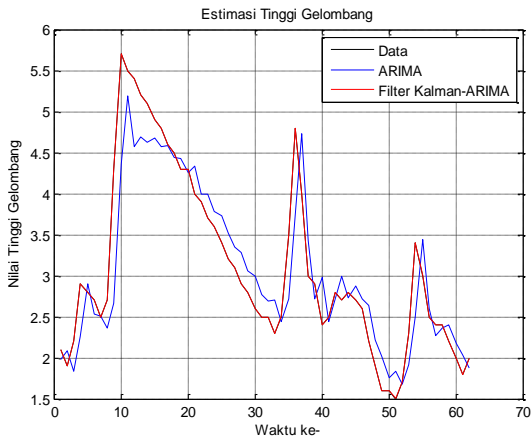


(b)

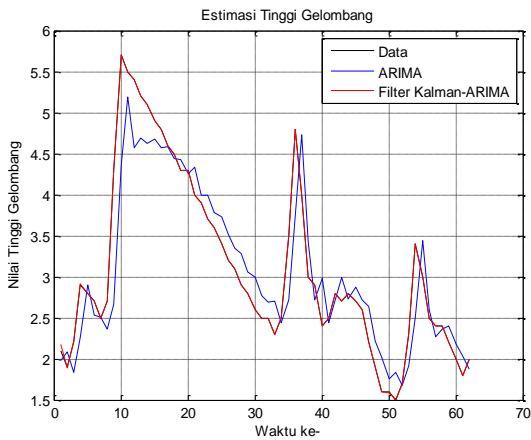
Gambar 4.35 Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Tinggi Gelombang menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 4$ dengan

$$\hat{x}_0 = [-3 \quad 3 \quad -3 \quad 3]^T \text{ dan}$$

(a) $Q = 0.01$, $R = 0.01$ (b) $Q = 0.01$, $R = 1$

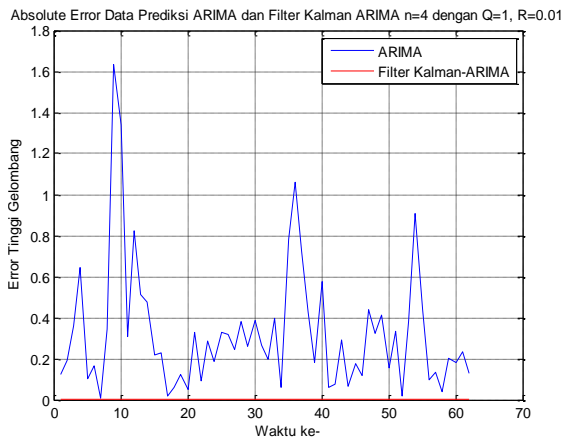


(a)

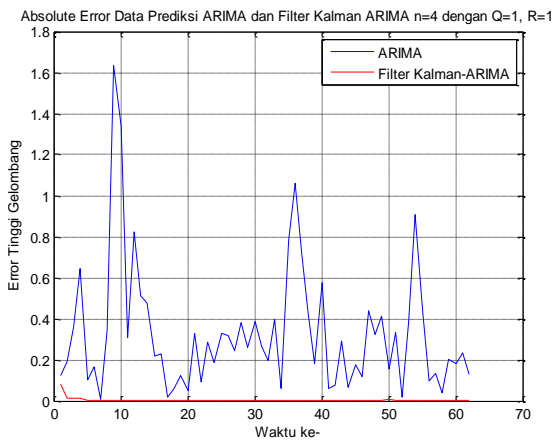


(b)

Gambar 4.36 Hasil Simulasi Tinggi Gelombang pada Filter Kalman $n = 4$ dengan $\hat{x}_0 = [-3 \ 3 \ -3 \ 3]^T$ dan
 (a) $Q = 1, R = 0.01$ (b) $Q = 1, R = 1$



(a)



(b)

Gambar 4.37 Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Tinggi Gelombang menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 4$ dengan

$$\hat{x}_0 = [-3 \quad 3 \quad -3 \quad 3]^T \text{ dan}$$

(a) $Q = 1, R = 0.01$ (b) $Q = 1, R = 1$

Lalu, dilakukan pengujian kembali Filter Kalman $n = 4$ untuk data tinggi gelombang, namun dengan pengambilan nilai awal

$$\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} -1.65 \\ 2 \\ -3 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

Hasil grafik perbandingan antara data aktual, data prediksi ARIMA, dan data prediksi Filter Kalman-ARIMA dapat dilihat pada Gambar 6 Lampiran 4. Sedangkan grafik nilai mutlak kesalahan prediksi untuk pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 6 Lampiran 5.

4.5 Akurasi Hasil Prediksi ARIMA dan Filter Kalman

Suatu prediksi tidak pernah lepas dari kesalahan perhitungan prediksi. Sehingga dari semua simulasi yang telah dilakukan, langkah berikutnya adalah mengevaluasi hasil prediksi, yang nantinya dapat digunakan untuk mengetahui keakuratan hasil prediksi dari data aktual. Perhitungan akurasi hasil prediksi menggunakan MAPE, yaitu ukuran kesalahan yang dihitung dengan mencari nilai tengah presentasi absolut perbandingan kesalahan dengan data aktual, rumus perhitungan dapat dilihat pada persamaan 2.2. Hasil perhitungan MAPE untuk prediksi ARIMA dapat dilihat pada Tabel 4.9, untuk Filter Kalman data kecepatan angin pada Tabel 4.10, dan untuk Filter Kalman data tinggi gelombang pada Tabel 4.11.

Tabel 4.9 Perhitungan MAPE Pada Prediksi ARIMA

Data	MAPE (%)
Kecepatan angin	9.84448
Tinggi gelombang	10.6425

Tabel 4.10 Perhitungan MAPE Pada Simulasi Filter Kalman Data Kecepatan Angin

Data	Nilai Awal (\hat{x}_0)	Q	R	MAPE (%)
Filter Kalman $n = 2$	$\begin{bmatrix} -15.65 \\ 15.65 \end{bmatrix}$	0.01	0.01	0.039575
		0.01	1	2.4316
		1	0.01	0.000920
		1	1	0.09175
	$\begin{bmatrix} 14 \\ -13 \end{bmatrix}$	0.01	0.01	0.065875
		0.01	1	3.8264
		1	0.01	0.0011475
		1	1	0.11353
Filter Kalman $n = 3$	$\begin{bmatrix} -15.65 \\ 15.65 \\ -15.65 \end{bmatrix}$	0.01	0.01	0.0029674
		0.01	1	0.29465
		1	0.01	0.0000066947
		1	1	0.067452
	$\begin{bmatrix} 10 \\ -11 \\ 2 \end{bmatrix}$	0.01	0.01	0.0017299
		0.01	1	0.17156
		1	0.01	0.00022925
		1	1	0.0022414
Filter Kalman $n = 4$	$\begin{bmatrix} -15.65 \\ 15.65 \\ -15.65 \\ 15.65 \end{bmatrix}$	0.01	0.01	0.00025096
		0.01	1	0.025043
		1	0.01	0.000005758
		1	1	0.00050837
	$\begin{bmatrix} 10 \\ -5 \\ -15 \\ 3 \end{bmatrix}$	0.01	0.01	0.00027629
		0.01	1	0.027575
		1	0.01	0.0000040253
		1	1	0.00033867

Tabel 4.11 Perhitungan MAPE Pada Simulasi Filter Kalman Data Tinggi Gelombang

Data	Nilai Awal (\hat{x}_0)	Q	R	MAPE (%)
Filter Kalman $n = 2$	$\begin{bmatrix} -3 \\ 3 \end{bmatrix}$	0.01	0.01	0.80036
		0.01	1	8.7483
		1	0.01	0.013523
		1	1	1.1243
	$\begin{bmatrix} -2 \\ 1.5 \end{bmatrix}$	0.01	0.01	0.80079
		0.01	1	6.5643
		1	0.01	0.011508
		1	1	0.89873
Filter Kalman $n = 3$	$\begin{bmatrix} -3 \\ 3 \\ -3 \end{bmatrix}$	0.01	0.01	0.20962
		0.01	1	5.3701
		1	0.01	0.0043566
		1	1	0.40451
	$\begin{bmatrix} 2.3 \\ -1 \\ 3 \end{bmatrix}$	0.01	0.01	0.21064
		0.01	1	4.6063
		1	0.01	0.0045528
		1	1	0.43256
Filter Kalman $n = 4$	$\begin{bmatrix} -3 \\ 3 \\ -3 \\ 3 \end{bmatrix}$	0.01	0.01	0.059088
		0.01	1	2.4366
		1	0.01	0.0015141
		1	1	0.14679
	$\begin{bmatrix} -1.65 \\ 2 \\ -3 \\ 1 \end{bmatrix}$	0.01	0.01	0.057448
		0.01	1	2.2501
		1	0.01	0.00081265
		1	1	0.077124

Pada Tabel 4.9, Tabel 4.10, dan Tabel 4.11 dapat diamati bahwa hasil MAPE lebih baik ketika $Q = 1$ dan $R = 0.01$, atau dapat dikatakan pada penelitian ini, hasil prediksi lebih baik ketika nilai Q lebih besar dan nilai R lebih kecil. Juga dapat

diamati pula, untuk setiap Q dan R yang diambil, nilai MAPEnya akan semakin menurun apabila derajat polinomialnya semakin tinggi.

Kemudian, dengan mengambil nilai awal (\hat{x}_0) dari MAPE yang paling kecil dari setiap simulasi, akan ditunjukkan bahwa semakin besar polinomial derajat yang diambil, maka semakin lama pula waktu komputasinya. Dengan menjalankan perangkat lunak sebanyak 5 kali, diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4.12 Lama Waktu Komputasi Filter Kalman

Data	Filter Kalman $n = 2$	Filter Kalman $n = 3$	Filter Kalman $n = 4$
Kecepatan angin	4.918848	5.914243	6.745364
Tinggi gelombang	5.026848	5.874463	6.788233

Dari Tabel 4.12 terlihat bahwa, semakin besar n yang diambil maka semakin lama waktu yang diperlukan untuk komputasi, meskipun selisih waktunya hanya berbeda sedikit. Namun, meskipun $n = 4$ membutuhkan waktu yang lebih lama untuk komputasi, hasil prediksi yang dihasilkan justru lebih baik dibandingkan ketika $n = 2$ dan $n = 3$.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini membahas mengenai kesimpulan dari penulisan Tugas Akhir dan saran yang bisa digunakan untuk pengembangan penelitian selanjutnya dengan topik yang sama.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari seluruh proses pada bab-bab sebelumnya, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Model ARIMA terbaik untuk data kecepatan angin adalah $ARIMA([6],1,[2,3])$ atau $ARIMA(1,1,2)$. Sedangkan model ARIMA terbaik untuk data tinggi gelombang adalah $ARIMA(2,1,1)$.
2. Pada simulasi Filter Kalman derajat polinomial pertama, kedua, dan ketiga, dengan nilai awal yang berbeda untuk setiap Q dan R yang diambil, nilai MAPE akan semakin menurun apabila derajat polinomialnya semakin tinggi. Hasil prediksi terbaik apabila diambil $Q = 1$, $R = 0.01$, dan derajat polinomial yang besar, yaitu saat Filter Kalman derajat polinomial ketiga atau $n = 4$. Filter Kalman terbukti mampu memperbaiki hasil prediksi ARIMA, ditunjukkan dengan nilai MAPE yang lebih kecil. Meskipun ketika $n = 4$ memiliki hasil perbaikan prediksi ARIMA yang lebih baik, namun ketika dihitung waktu komputasinya lebih besar dibandingkan saat pengambilan $n = 2$ dan $n = 3$.

5.2 Saran

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, Filter Kalman dapat diterapkan untuk percabangan model ARIMA lain, seperti model SARIMA. Atau dapat juga digunakan metode ANN (*Artificial Neural Network*) untuk menggantikan proses prediksi ARIMA.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Lampiran 1

Proses Stasioneritas Data

Tabel 1. Data *In Sample* Kecepatan Angin

Tanggal	Kecepatan Angin	<i>Differencing</i>
01/01/2014	8.9	*
02/01/2014	11.8	2.9
03/01/2014	10.5	-1.3
04/01/2014	12.1	1.6
05/01/2014	17.5	5.4
06/01/2014	15.8	-1.7
07/01/2014	15.3	-0.5
08/01/2014	12	-3.3
09/01/2014	5.7	-6.3
10/01/2014	5.4	-0.3
11/01/2014	6.8	1.4
12/01/2014	8.2	1.4
13/01/2014	17.6	9.4
14/01/2014	20	2.4
15/01/2014	22.7	2.7
16/01/2014	20.5	-2.2
17/01/2014	15.9	-4.6
18/01/2014	16.4	0.5
19/01/2014	18.2	1.8
20/01/2014	18.4	0.2
21/01/2014	19.7	1.3
22/01/2014	20	0.3
23/01/2014	17	-3.0
24/01/2014	16.4	-0.6
25/01/2014	13.6	-2.8

Lampiran 1 (Lanjutan)

Tanggal	Kecepatan Angin	<i>Differencing</i>
26/01/2014	14.9	1.3
27/01/2014	14.6	-0.3
28/01/2014	14.6	0.0
29/01/2014	19	4.4
30/01/2014	20.1	1.1
31/01/2014	23.3	3.2
01/02/2014	21.8	-1.5
02/02/2014	18.9	-2.9
03/02/2014	13.7	-5.2
04/02/2014	11	-2.7
05/02/2014	6.8	-4.2
06/02/2014	8.6	1.8
07/02/2014	11.8	3.2
08/02/2014	11.9	0.1
09/02/2014	12.8	0.9
10/02/2014	14.3	1.5
11/02/2014	13.3	-1.0
12/02/2014	8.8	-4.5
13/02/2014	9.8	1.0
14/02/2014	11.9	2.1
15/02/2014	14	2.1
16/02/2014	12.6	-1.4
17/02/2014	6.7	-5.9
18/02/2014	9.3	2.6
19/02/2014	11.5	2.2
20/02/2014	12	0.5

Lampiran 1 (Lanjutan)

Tanggal	Kecepatan Angin	<i>Differencing</i>
21/02/2014	9.7	-2.3
22/02/2014	11.2	1.5
23/02/2014	13.2	2.0
24/02/2014	7.4	-5.8
25/02/2014	7.7	0.3
26/02/2014	4.5	-3.2
27/02/2014	5.8	1.3
28/02/2014	6.4	0.6
01/03/2014	5.5	-0.9
02/03/2014	7.1	1.6
03/03/2014	7.1	0.0
04/03/2014	3.3	-3.8
05/03/2014	8	4.7
06/03/2014	8.8	0.8
07/03/2014	6.2	-2.6
08/03/2014	7.5	1.3
09/03/2014	11.1	3.6
10/03/2014	8.8	-2.3
11/03/2014	8.1	-0.7
12/03/2014	12.3	4.2
13/03/2014	11.8	-0.5
14/03/2014	6.7	-5.1
15/03/2014	4.1	-2.6
16/03/2014	2.8	-1.3
17/03/2014	4.7	1.9
18/03/2014	4.2	-0.5

Lampiran 1 (Lanjutan)

Tanggal	Kecepatan Angin	<i>Differencing</i>
19/03/2014	6.2	2.0
20/03/2014	6.2	0.0
21/03/2014	6.6	0.4
22/03/2014	3	-3.6
23/03/2014	2.2	-0.8
24/03/2014	4.5	2.3
25/03/2014	6.4	1.9
26/03/2014	7.7	1.3
27/03/2014	2.8	-4.9
28/03/2014	3.7	0.9
29/03/2014	8	4.3
30/03/2014	11.7	3.7
31/03/2014	11.9	0.2
01/04/2014	7.8	-4.1
02/04/2014	9.2	1.4
03/04/2014	9.5	0.3
04/04/2014	2.5	-7.0
05/04/2014	1.7	-0.8
06/04/2014	8.8	7.1
07/04/2014	13.9	5.1
08/04/2014	14.7	0.8
09/04/2014	11.7	-3.0
10/04/2014	10.1	-1.6
11/04/2014	9.9	-0.2
12/04/2014	9.9	0.0
13/04/2014	11.1	1.2

Lampiran 1 (Lanjutan)

Tanggal	Kecepatan Angin	<i>Differencing</i>
14/04/2014	8	-3.1
15/04/2014	9.3	1.3
16/04/2014	5.7	-3.6
17/04/2014	4.7	-1.0
18/04/2014	5.4	0.7
19/04/2014	4.2	-1.2
20/04/2014	4.1	-0.1
21/04/2014	2.9	-1.2
22/04/2014	3.8	0.9
23/04/2014	4.2	0.4
24/04/2014	2.9	-1.3
25/04/2014	2.1	-0.8
26/04/2014	2.1	0.0
27/04/2014	4.8	2.7
28/04/2014	5.5	0.7
29/04/2014	4.5	-1.0
30/04/2014	4.5	0.0
01/05/2014	6.6	2.1
02/05/2014	9.1	2.5
03/05/2014	7.9	-1.2
04/05/2014	9.5	1.6
05/05/2014	13.4	3.9
06/05/2014	13.9	0.5
07/05/2014	13.9	0.0
08/05/2014	8.1	-5.8
09/05/2014	11	2.9

Lampiran 1 (Lanjutan)

Tanggal	Kecepatan Angin	<i>Differencing</i>
10/05/2014	11.4	0.4
11/05/2014	10	-1.4
12/05/2014	9.9	-0.1
13/05/2014	8.3	-1.6
14/05/2014	8.9	0.6
15/05/2014	10	1.1
16/05/2014	13.8	3.8
17/05/2014	13.5	-0.3
18/05/2014	10.6	-2.9
19/05/2014	7.5	-3.1
20/05/2014	6.6	-0.9
21/05/2014	10.8	4.2
22/05/2014	12.9	2.1
23/05/2014	13.3	0.4
24/05/2014	12.4	-0.9
25/05/2014	9.7	-2.7
26/05/2014	15.2	5.5
27/05/2014	13.4	-1.8
28/05/2014	11.5	-1.9
29/05/2014	12.9	1.4
30/05/2014	14.1	1.2
31/05/2014	13.7	-0.4
01/06/2014	11.4	-2.3
02/06/2014	11.5	0.1
03/06/2014	14.9	3.4
04/06/2014	18.2	3.3

Lampiran 1 (Lanjutan)

Tanggal	Kecepatan Angin	<i>Differencing</i>
05/06/2014	16.5	-1.7
06/06/2014	14.2	-2.3
07/06/2014	14.7	0.5
08/06/2014	16.2	1.5
09/06/2014	13.6	-2.6
10/06/2014	11.1	-2.5
11/06/2014	9	-2.1
12/06/2014	10.8	1.8
13/06/2014	13.7	2.9
14/06/2014	16	2.3
15/06/2014	13.7	-2.3
16/06/2014	11.5	-2.2
17/06/2014	13	1.5
18/06/2014	15.6	2.6
19/06/2014	14.5	-1.1
20/06/2014	14.3	-0.2
21/06/2014	10.7	-3.6
22/06/2014	11.1	0.4
23/06/2014	12.6	1.5
24/06/2014	11.9	-0.7
25/06/2014	16	4.1
26/06/2014	16.9	0.9
27/06/2014	15.3	-1.6
28/06/2014	15.1	-0.2
29/06/2014	14.8	-0.3
30/06/2014	14.7	-0.1

Lampiran 1 (Lanjutan)

Tabel 2. Data Tinggi Gelombang

Tanggal	Tinggi Gelombang	Transformasi Box-Cox	<i>Differencing</i>
01/01/2014	1.9	1.37840	*
02/01/2014	1.4	1.18322	-0.195189
03/01/2014	1.0	1.00000	-0.183216
04/01/2014	1.4	1.18322	0.183216
05/01/2014	2.9	1.70294	0.519723
06/01/2014	2.5	1.58114	-0.121800
07/01/2014	2.2	1.48324	-0.097899
08/01/2014	1.4	1.18322	-0.300024
09/01/2014	1.0	1.00000	-0.183216
10/01/2014	0.5	0.70711	-0.292893
11/01/2014	0.8	0.89443	0.187320
12/01/2014	0.9	0.94868	0.054256
13/01/2014	2.3	1.51658	0.567892
14/01/2014	3.3	1.81659	0.300015
15/01/2014	3.8	1.94936	0.132769
16/01/2014	4.0	2.00000	0.050641
17/01/2014	2.8	1.67332	-0.326680
18/01/2014	2.8	1.67332	0.000000
19/01/2014	3.2	1.78885	0.115534
20/01/2014	3.3	1.81659	0.027736
21/01/2014	3.7	1.92354	0.106948
22/01/2014	3.9	1.97484	0.051303
23/01/2014	3.0	1.73205	-0.242791
24/01/2014	2.9	1.70294	-0.029112
25/01/2014	2.2	1.48324	-0.219699

Lampiran 1 (Lanjutan)

Tanggal	Tinggi Gelombang	Transformasi Box-Cox	<i>Differencing</i>
26/01/2014	2.2	1.48324	0.000000
27/01/2014	2.1	1.44914	-0.034102
28/01/2014	2.0	1.41421	-0.034924
29/01/2014	3.1	1.76068	0.346468
30/01/2014	3.4	1.84391	0.083227
31/01/2014	4.1	2.02485	0.180937
01/02/2014	3.9	1.97484	-0.050004
02/02/2014	3.4	1.84391	-0.130933
03/02/2014	2.6	1.61245	-0.231457
04/02/2014	2.0	1.41421	-0.198238
05/02/2014	1.2	1.09545	-0.318768
06/02/2014	1.0	1.00000	-0.095445
07/02/2014	1.4	1.18322	0.183216
08/02/2014	1.5	1.22474	0.041529
09/02/2014	1.7	1.30384	0.079096
10/02/2014	2.0	1.41421	0.110373
11/02/2014	1.8	1.34164	-0.072573
12/02/2014	1.0	1.00000	-0.341641
13/02/2014	0.9	0.94868	-0.051317
14/02/2014	1.3	1.14018	0.191492
15/02/2014	1.8	1.34164	0.201465
16/02/2014	1.5	1.22474	-0.116896
17/02/2014	0.7	0.83666	-0.388085
18/02/2014	0.9	0.94868	0.112023
19/02/2014	1.5	1.22474	0.276062

Lampiran 1 (Lanjutan)

Tanggal	Tinggi Gelombang	Transformasi Box-Cox	<i>Differencing</i>
20/02/2014	1.6	1.26491	0.040166
21/02/2014	1.0	1.00000	-0.264911
22/02/2014	1.3	1.14018	0.140175
23/02/2014	1.9	1.37840	0.238229
24/02/2014	1.3	1.14018	-0.238229
25/02/2014	0.9	0.94868	-0.191492
26/02/2014	0.7	0.83666	-0.112023
27/02/2014	0.6	0.77460	-0.062063
28/02/2014	0.5	0.70711	-0.067490
01/03/2014	0.4	0.63246	-0.074651
02/03/2014	0.4	0.63246	0.000000
03/03/2014	0.6	0.77460	0.142141
04/03/2014	0.3	0.54772	-0.226874
05/03/2014	0.6	0.77460	0.226874
06/03/2014	0.8	0.89443	0.119831
07/03/2014	0.3	0.54772	-0.346705
08/03/2014	0.5	0.70711	0.159384
09/03/2014	1.3	1.22474	0.433069
10/03/2014	1.1	1.26491	-0.091367
11/03/2014	0.8	1.00000	-0.154382
12/03/2014	1.4	1.14018	0.288789
13/03/2014	1.8	1.37840	0.158425
14/03/2014	1.1	1.14018	-0.292832
15/03/2014	0.5	0.94868	-0.341702
16/03/2014	0.2	0.44721	-0.259893

Lampiran 1 (Lanjutan)

Tanggal	Tinggi Gelombang	Transformasi Box-Cox	<i>Differencing</i>
17/03/2014	0.1	0.77460	-0.130986
18/03/2014	0.1	1.09545	0.000000
19/03/2014	0.4	1.14018	0.316228
20/03/2014	0.4	1.00000	0.000000
21/03/2014	1.4	1.00000	0.550760
22/03/2014	0.9	1.14018	-0.234533
23/03/2014	0.7	0.77460	-0.112023
24/03/2014	0.5	0.54772	-0.129553
25/03/2014	0.4	0.83666	-0.074651
26/03/2014	0.5	1.37840	0.074651
27/03/2014	0.2	1.41421	-0.259893
28/03/2014	0.2	1.26491	0.000000
29/03/2014	0.6	0.44721	0.327383
30/03/2014	1.2	0.77460	0.320848
31/03/2014	1.3	1.09545	0.044730
01/04/2014	1.0	1.14018	-0.140175
02/04/2014	1.0	1.00000	0.000000
03/04/2014	1.3	1.00000	0.140175
04/04/2014	0.6	1.14018	-0.365579
05/04/2014	0.3	0.77460	-0.226874
06/04/2014	0.7	0.54772	0.288937
07/04/2014	1.9	0.83666	0.541745
08/04/2014	2.0	1.37840	0.035809
09/04/2014	1.6	1.41421	-0.149302
10/04/2014	1.0	1.00000	-0.264911

Lampiran 1 (Lanjutan)

Tanggal	Tinggi Gelombang	Transformasi Box-Cox	<i>Differencing</i>
11/04/2014	0.9	0.94868	-0.051317
12/04/2014	1.0	1.00000	0.051317
13/04/2014	1.3	1.14018	0.140175
14/04/2014	0.7	0.83666	-0.303515
15/04/2014	0.9	0.94868	0.112023
16/04/2014	0.4	0.63246	-0.316228
17/04/2014	0.3	0.54772	-0.084733
18/04/2014	0.3	0.54772	0.000000
19/04/2014	0.2	0.44721	-0.100509
20/04/2014	0.2	0.44721	0.000000
21/04/2014	0.2	0.44721	0.000000
22/04/2014	0.3	0.54772	0.100509
23/04/2014	0.5	0.70711	0.159384
24/04/2014	0.3	0.54772	-0.159384
25/04/2014	0.1	0.31623	-0.231495
26/04/2014	0.2	0.44721	0.130986
27/04/2014	0.2	0.44721	0.000000
28/04/2014	0.2	0.44721	0.000000
29/04/2014	0.2	0.44721	0.000000
30/04/2014	0.3	0.54772	0.100509
01/05/2014	0.4	0.63246	0.084733
02/05/2014	0.7	0.83666	0.204204
03/05/2014	0.8	0.89443	0.057767
04/05/2014	1.1	1.04881	0.154382
05/05/2014	1.6	1.26491	0.216102

Lampiran 1 (Lanjutan)

Tanggal	Tinggi Gelombang	Transformasi Box-Cox	<i>Differencing</i>
06/05/2014	1.9	1.37840	0.113494
07/05/2014	1.9	1.37840	0.000000
08/05/2014	1.6	1.26491	-0.113494
09/05/2014	1.3	1.14018	-0.124736
10/05/2014	1.2	1.09545	-0.044730
11/05/2014	1.1	1.04881	-0.046636
12/05/2014	1.2	1.09545	0.046636
13/05/2014	0.9	0.94868	-0.146762
14/05/2014	1.0	1.00000	0.051317
15/05/2014	1.0	1.00000	0.000000
16/05/2014	1.7	1.30384	0.303840
17/05/2014	2.0	1.41421	0.110373
18/05/2014	1.4	1.18322	-0.230998
19/05/2014	0.7	0.83666	-0.346556
20/05/2014	0.6	0.77460	-0.062063
21/05/2014	1.3	1.14018	0.365579
22/05/2014	1.5	1.22474	0.084569
23/05/2014	1.7	1.30384	0.079096
24/05/2014	1.7	1.30384	0.000000
25/05/2014	1.2	1.09545	-0.208395
26/05/2014	2.1	1.44914	0.353693
27/05/2014	2.1	1.44914	0.000000
28/05/2014	1.5	1.22474	-0.224393
29/05/2014	1.6	1.26491	0.040166
30/05/2014	1.8	1.34164	0.076730

Lampiran 1 (Lanjutan)

Tanggal	Tinggi Gelombang	Transformasi Box-Cox	<i>Differencing</i>
31/05/2014	1.6	1.26491	-0.076730
01/06/2014	1.2	1.09545	-0.169466
02/06/2014	1.2	1.09545	0.000000
03/06/2014	1.9	1.37840	0.282960
04/06/2014	2.8	1.67332	0.294915
05/06/2014	2.7	1.64317	-0.030152
06/06/2014	2.1	1.44914	-0.194030
07/06/2014	1.9	1.37840	-0.070733
08/06/2014	2.3	1.51658	0.138170
09/06/2014	1.9	1.37840	-0.138170
10/06/2014	1.6	1.26491	-0.113494
11/06/2014	1.2	1.09545	-0.169466
12/06/2014	1.2	1.09545	0.000000
13/06/2014	1.6	1.26491	0.169466
14/06/2014	2.1	1.44914	0.184227
15/06/2014	2.0	1.41421	-0.034924
16/06/2014	1.5	1.22474	-0.189469
17/06/2014	1.6	1.26491	0.040166
18/06/2014	2.2	1.48324	0.218329
19/06/2014	2.3	1.51658	0.033335
20/06/2014	2.2	1.48324	-0.033335
21/06/2014	1.3	1.14018	-0.343064
22/06/2014	1.1	1.04881	-0.091367
23/06/2014	1.4	1.18322	0.134407
24/06/2014	1.4	1.18322	0.000000

Lampiran 1 (Lanjutan)

Tanggal	Tinggi Gelombang	Transformasi Box-Cox	<i>Differencing</i>
25/06/2014	2.3	1.51658	0.333359
26/06/2014	2.7	1.64317	0.126593
27/06/2014	2.2	1.48324	-0.159928
28/06/2014	2.0	1.41421	-0.069026
29/06/2014	2.0	1.41421	0.000000

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Lampiran 2 Output Model ARIMA

Kecepatan Angin

1. ARIMA([2,6],1,[2,3])

Dependent Variable: D(KEC)

Method: Least Squares

Date: 12/04/14 Time: 12:32

Sample (adjusted): 1/08/2014 6/30/2014

Included observations: 174 after adjustments

Convergence achieved after 11 iterations

MA Backcast: 1/05/2014 1/07/2014

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(2)	0.115122	0.174378	0.660191	0.5100
AR(6)	-0.123317	0.082893	-1.487671	0.1387
MA(2)	-0.485056	0.152120	-3.188644	0.0017
MA(3)	-0.169935	0.070451	-2.412082	0.0169
R-squared	0.167785	Mean dependent var		-0.003448
Adjusted R-squared	0.153099	S.D. dependent var		2.605350
S.E. of regression	2.397632	Akaike info criterion		4.609560
Sum squared resid	977.2684	Schwarz criterion		4.682182
Log likelihood	-397.0317	Hannan-Quinn criter.		4.639020
Durbin-Watson stat	1.878396			
Inverted AR Roots	.63-.34i	.63+.34i	.00+.68i	-.00-.68i
	-.63+.34i	-.63-.34i		
Inverted MA Roots	.83	-.42+.18i	-.42-.18i	

Lampiran 2 (Lanjutan)

2. ARIMA([2,3],1,[2,6])

Dependent Variable: D(KEC)

Method: Least Squares

Date: 12/04/14 Time: 12:32

Sample (adjusted): 1/05/2014 6/30/2014

Included observations: 177 after adjustments

Convergence achieved after 10 iterations

MA Backcast: 12/30/2013 1/04/2014

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(2)	0.427745	0.178405	2.397610	0.0176
AR(3)	-0.179521	0.070452	-2.548152	0.0117
MA(2)	-0.799358	0.156540	-5.106401	0.0000
MA(6)	0.004813	0.096407	0.049919	0.9602
R-squared	0.181060	Mean dependent var		0.014689
Adjusted R-squared	0.166859	S.D. dependent var		2.618294
S.E. of regression	2.389889	Akaike info criterion		4.602710
Sum squared resid	988.1011	Schwarz criterion		4.674488
Log likelihood	-403.3398	Hannan-Quinn criter.		4.631820
Durbin-Watson stat	1.884190			
Inverted AR Roots	.40-.24i	.40+.24i	-.81	.00-
Inverted MA Roots	.89	.29	.00+.27i	.27i
	-.29	-.89		

Lampiran 2 (Lanjutan)

3. ARIMA(0,1,[2,3])

Dependent Variable: D(KEC)

Method: Least Squares

Date: 12/04/14 Time: 12:31

Sample (adjusted): 1/02/2014 6/30/2014

Included observations: 180 after adjustments

Convergence achieved after 9 iterations

MA Backcast: 12/30/2013 1/01/2014

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
MA(2)	-0.419427	0.065522	-6.401344	0.0000
MA(3)	-0.202661	0.065599	-3.089408	0.0023
R-squared	0.140213	Mean dependent var		0.032222
Adjusted R-squared	0.135383	S.D. dependent var		2.609687
S.E. of regression	2.426611	Akaike info criterion		4.621917
Sum squared resid	1048.143	Schwarz criterion		4.657395
Log likelihood	-413.9726	Hannan-Quinn criter.		4.636302
Durbin-Watson stat	1.927947			
Inverted MA Roots	.82	-.41+.28i	-.41-.28i	

Lampiran 2 (Lanjutan)

4. ARIMA([2,6],1,0)

Dependent Variable: D(KEC)

Method: Least Squares

Date: 12/04/14 Time: 12:32

Sample (adjusted): 1/08/2014 6/30/2014

Included observations: 174 after adjustments

Convergence achieved after 3 iterations

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(2)	-0.266809	0.073296	-3.640148	0.0004
AR(6)	-0.173851	0.072633	-2.393549	0.0178
R-squared	0.089802	Mean dependent var	-0.003448	
Adjusted R-squared	0.084510	S.D. dependent var	2.605350	
S.E. of regression	2.492831	Akaike info criterion	4.676143	
Sum squared resid	1068.844	Schwarz criterion	4.712454	
Log likelihood	-404.8244	Hannan-Quinn criter.	4.690873	
Durbin-Watson stat	1.756576			
Inverted AR Roots	.60+.40i	.60-.40i	.00-.81i	

Lampiran 2 (Lanjutan)

5. ARIMA([2],1,[2,3])

Dependent Variable: D(KEC)

Method: Least Squares

Date: 12/04/14 Time: 12:32

Sample (adjusted): 1/04/2014 6/30/2014

Included observations: 178 after adjustments

Convergence achieved after 12 iterations

MA Backcast: 1/01/2014 1/03/2014

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(2)	0.314976	0.132722	2.373193	0.0187
MA(2)	-0.695428	0.098349	-7.071016	0.0000
MA(3)	-0.120069	0.057952	-2.071891	0.0397
R-squared	0.164924	Mean dependent var		0.023596
Adjusted R-squared	0.155380	S.D. dependent var		2.613590
S.E. of regression	2.401973	Akaike info criterion		4.607168
Sum squared resid	1009.658	Schwarz criterion		4.660794
Log likelihood	-407.0380	Hannan-Quinn criter.		4.628915
Durbin-Watson stat	1.903262			
Inverted AR Roots	.56	-.56		
Inverted MA Roots	.91	-.18	-.73	

Lampiran 2 (Lanjutan)

6. ARIMA([6],1,[2,3])

Dependent Variable: D(KEC)

Method: Least Squares

Date: 12/04/14 Time: 12:32

Sample (adjusted): 1/08/2014 6/30/2014

Included observations: 174 after adjustments

Convergence achieved after 7 iterations

MA Backcast: 1/05/2014 1/07/2014

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(6)	-0.149803	0.075360	-1.987847	0.0484
MA(2)	-0.379129	0.069237	-5.475840	0.0000
MA(3)	-0.189996	0.069936	-2.716712	0.0073
R-squared	0.165800	Mean dependent var	-0.003448	
Adjusted R-squared	0.156044	S.D. dependent var	2.605350	
S.E. of regression	2.393459	Akaike info criterion	4.600448	
Sum squared resid	979.5989	Schwarz criterion	4.654914	
Log likelihood	-397.2389	Hannan-Quinn criter.	4.622543	
Durbin-Watson stat	1.882895			
Inverted AR Roots	.63-.36i	.63+.36i	.00+.73i	-.00-.73i
	-.63-.36i	-.63+.36i		
Inverted MA Roots	.79	-.39+.29i	-.39-.29i	

Lampiran 2 (Lanjutan)

TINGGI GELOMBANG

1. ARIMA(2,1,3)

Dependent Variable: D(SQR(TING))

Method: Least Squares

Date: 12/04/14 Time: 19:30

Sample (adjusted): 1/04/2014 6/30/2014

Included observations: 178 after adjustments

Convergence achieved after 16 iterations

MA Backcast: 1/01/2014 1/03/2014

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(1)	0.949666	0.595531	1.594655	0.1126
AR(2)	-0.317139	0.357869	-0.886186	0.3767
MA(1)	-0.832072	0.601919	-1.382366	0.1686
MA(2)	-0.085264	0.309845	-0.275182	0.7835
MA(3)	0.056099	0.251484	0.223071	0.8237
R-squared	0.166484	Mean dependent var	0.002327	
Adjusted R-squared	0.147212	S.D. dependent var	0.196018	
S.E. of regression	0.181015	Akaike info criterion	-0.552782	
Sum squared resid	5.668614	Schwarz criterion	-0.463406	
Log likelihood	54.19761	Hannan-Quinn criter.	-0.516538	
Durbin-Watson stat	1.984180			
Inverted AR Roots	.47-.30i	.47+.30i		
Inverted MA Roots	.86	.24	-.27	

Lampiran 2 (Lanjutan)

2. ARIMA(3,1,2)

Dependent Variable: D(SQR(TING))

Method: Least Squares

Date: 12/04/14 Time: 19:29

Sample (adjusted): 1/05/2014 6/30/2014

Included observations: 177 after adjustments

Convergence achieved after 21 iterations

MA Backcast: 1/03/2014 1/04/2014

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(1)	0.960889	1.022293	0.939935	0.3486
AR(2)	-0.379404	0.973530	-0.389719	0.6972
AR(3)	0.058770	0.369711	0.158961	0.8739
MA(1)	-0.838965	1.024940	-0.818550	0.4142
MA(2)	-0.028648	0.867021	-0.033042	0.9737
R-squared	0.165553	Mean dependent var	0.001305	
Adjusted R-squared	0.146147	S.D. dependent var	0.196097	
S.E. of regression	0.181202	Akaike info criterion	-0.550564	
Sum squared resid	5.647491	Schwarz criterion	-0.460842	
Log likelihood	53.72493	Hannan-Quinn criter.	-0.514176	
Durbin-Watson stat	1.985776			
Inverted AR Roots	.36	.30-.27i	.30+.27i	
Inverted MA Roots	.87	-.03		

Lampiran 2 (Lanjutan)

3. ARIMA(2,1,1)

Dependent Variable: D(SQR(TING))

Method: Least Squares

Date: 12/04/14 Time: 19:29

Sample (adjusted): 1/04/2014 6/30/2014

Included observations: 178 after adjustments

Convergence achieved after 10 iterations

MA Backcast: 1/03/2014

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(1)	0.938032	0.089475	10.48375	0.0000
AR(2)	-0.355992	0.072747	-4.893569	0.0000
MA(1)	-0.833987	0.070437	-11.84027	0.0000
R-squared	0.164070	Mean dependent var	0.002327	
Adjusted R-squared	0.154517	S.D. dependent var	0.196018	
S.E. of regression	0.180238	Akaike info criterion	-0.572362	
Sum squared resid	5.685031	Schwarz criterion	-0.518736	
Log likelihood	53.94022	Hannan-Quinn criter.	-0.550615	
Durbin-Watson stat	1.957817			
Inverted AR Roots	.47-.37i	.47+.37i		
Inverted MA Roots	.83			

Lampiran 2 (Lanjutan)

4. ARIMA(1,1,2)

Dependent Variable: D(SQR(TING))

Method: Least Squares

Date: 12/04/14 Time: 19:30

Sample (adjusted): 1/03/2014 6/30/2014

Included observations: 179 after adjustments

Convergence achieved after 10 iterations

MA Backcast: 1/01/2014 1/02/2014

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(1)	0.607258	0.108337	5.605244	0.0000
MA(1)	-0.501755	0.110687	-4.533091	0.0000
MA(2)	-0.369959	0.076887	-4.811739	0.0000
R-squared	0.156700	Mean dependent var	0.001290	
Adjusted R-squared	0.147117	S.D. dependent var	0.195957	
S.E. of regression	0.180970	Akaike info criterion	-0.564354	
Sum squared resid	5.764023	Schwarz criterion	-0.510934	
Log likelihood	53.50964	Hannan-Quinn criter.	-0.542692	
Durbin-Watson stat	1.961216			
Inverted AR Roots	.61			
Inverted MA Roots	.91	-.41		

Lampiran 3

Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi

Tabel 1. Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Kecepatan Angin menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 2$ dengan $\hat{x}_0 = [-15.65 \quad 15.65]^T$

Prediksi ke-	ARIMA	Q=0.01, R=0.01	Q=0.01, R=1	Q=1, R=0.01	Q=1, R=1
1	0.9951	0.00955469	0.951343017	0.004825220	0.48146777
2	1.31134	0.003559292	0.413760536	0.000035870	0.00585497
3	2.73658	0.004121843	0.132479334	0.000042540	0.0041898
4	2.26194	0.009999026	0.609052866	0.000100990	0.0100203
5	0.65657	0.004981021	0.438634142	0.000049780	0.00497823
6	0.76253	0.006886452	0.338022802	0.000069540	0.00689065
7	0.12578	0.001868326	0.043229822	0.000019050	0.00186761
8	0.65462	0.00056766	0.044165662	0.000005700	0.00057254
9	2.58205	0.000144324	0.017480681	0.000001550	0.00015561
10	5.76157	0.003042645	0.222759101	0.000031050	0.00309216
11	0.60642	0.009408121	0.736852775	0.000094290	0.0094013
12	0.98508	0.005838439	0.317631269	0.000058960	0.00585325
13	0.65021	0.001007891	0.020055373	0.000010100	0.00099182
14	1.13688	0.002074685	0.134957488	0.000021120	0.00209813
15	1.25975	0.00391669	0.274938877	0.000039740	0.00395518
16	1.19057	0.005467631	0.387191285	0.000055550	0.00552853
17	2.31832	0.001248242	0.164595229	0.000013200	0.00133295
18	2.23041	0.008281129	0.470275913	0.000085100	0.00842503
19	2.52985	0.007432731	0.491701824	0.000076990	0.0076541
20	1.71079	0.007991876	0.521671677	0.000080990	0.00803709
21	3.40761	0.006128917	0.422482687	0.000068810	0.00683001

Lampiran 3 (Lanjutan)

Prediksi ke-	ARIMA	Q=0.01, R=0.01	Q=0.01, R=1	Q=1, R=0.01	Q=1, R=1
22	2.039	0.027812305	1.154539719	0.000289270	0.028357
23	2.22669	0.006089406	0.680217211	0.000062690	0.00646945
24	1.71522	0.009208286	0.594011157	0.000094790	0.00931473
25	1.211369	0.002316557	0.333200097	0.000021540	0.00212379
26	0.503314	0.003469665	0.019664543	0.000045070	0.00398724
27	0.2548	0.010399652	0.386459437	0.000112080	0.01101698
28	0.37416	0.006260866	0.398679245	0.000068600	0.00683674
29	0.94785	0.007900018	0.492682724	0.000086020	0.00852627
30	1.27846	0.007235763	0.507433526	0.000077800	0.00773777
31	1.86041	0.005379134	0.427536653	0.000058580	0.0058379
32	2.55467	0.005135548	0.403742869	0.000056040	0.00558236
33	0.96808	0.005454579	0.419735194	0.000054530	0.00543395
34	2.05684	0.001666067	0.011988765	0.000015720	0.00154167
35	4.53217	0.002573975	0.17047265	0.000030980	0.00307652
36	3.8435	0.006072123	0.465579137	0.000063600	0.00634011
37	0.78121	0.005104435	0.43405957	0.000047700	0.00476288
38	0.01208	0.0084874	0.479881012	0.000090240	0.00895987
39	1.21909	0.001622144	0.199070995	0.000014540	0.00147215
40	2.66312	0.00618486	0.337008034	0.000056320	0.00558821
41	2.18421	0.013399729	0.742843773	0.000132640	0.01314575
42	0.92643	0.007737429	0.343333422	0.000080650	0.00797132
43	0.44228	0.003428874	0.288141081	0.000033740	0.00337815
44	0.17674	0.002471559	0.101429903	0.000025340	0.00250744
45	0.37182	0.000364552	0.003017123	0.000002790	0.00026894
46	0.30651	0.000723	0.005045408	0.000000910	0.00009141

Lampiran 3 (Lanjutan)

Prediksi ke-	ARIMA	Q=0.01, R=0.01	Q=0.01, R=1	Q=1, R=0.01	Q=1, R=1
47	1.92762	0.000471212	0.025548057	0.000009720	0.00096486
48	0.89211	0.008649612	0.490645953	0.000090210	0.00894552
49	2.63399	0.000349007	0.148752844	0.000011260	0.00116134
50	0.23443	0.010868605	0.593803682	0.000107620	0.01064276
51	1.34302	0.005716271	0.119247704	0.000057990	0.00567266
52	0.17435	0.004018302	0.174645461	0.000039250	0.00384966
53	2.24667	0.003783279	0.169110616	0.000047310	0.00467111
54	3.34391	0.006914539	0.48223295	0.000075960	0.00756353
55	1.95099	0.009469156	0.717317435	0.000090830	0.00905395
56	0.76953	0.012091112	0.610902853	0.000124260	0.01231492
57	0.01933	0.003017075	0.057535881	0.000031030	0.00303959
58	0.41901	0.000171135	0.022897435	0.000000640	0.0000741
59	0.29673	0.003728951	0.215522651	0.000040130	0.00398241
60	0.69328	0.003015158	0.221107217	0.000034110	0.00339863
61	1.56662	0.00061832	0.089667659	0.000010450	0.00105109
62	1.13098	0.004759545	0.290998443	0.000042260	0.00419098

Lampiran 3 (Lanjutan)

Tabel 2. Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Kecepatan Angin menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 3$ dengan $\hat{x}_0 = [-15.65 \quad 15.65 \quad -15.65]^T$

Prediksi ke-	ARIMA	Q=0.01, R=0.01	Q=0.01, R=1	Q=1, R=0.01	Q=1, R=1
1	0.9951	0.0006431420	0.0006431	0.00032479	0.0324783
2	1.31134	0.0005918820	0.0005919	0.00000595	0.0005939
3	2.73658	0.0007028760	0.0007029	0.00000716	0.000716
4	2.26194	0.0003362670	0.0003363	0.00000346	0.0003457
5	0.65657	0.0002321460	0.0002321	0.00000238	0.0002381
6	0.76253	0.0000869179	0.0000869	0.0000009	0.00009
7	0.12578	0.0000262872	0.0000263	0.00000027	0.000002683
8	0.65462	0.0001194330	0.0001194	0.00000123	0.0001229
9	2.58205	0.0002389490	0.0002389	0.00000247	0.0002466
10	5.76157	0.0002635210	0.0002635	0.00000275	0.0002751
11	0.60642	0.0000937511	0.0000938	0.00000097	0.00009706
12	0.98508	0.0000956564	0.0000957	0.000001	0.0001004
13	0.65021	0.0001372310	0.0001372	0.00000143	0.0001434
14	1.13688	0.0001768750	0.0001769	0.00000186	0.0001855
15	1.25975	0.0002403510	0.0002404	0.00000253	0.0002529
16	1.19057	0.0003091920	0.0003092	0.00000327	0.0003266
17	2.31832	0.0004695290	0.0004695	0.00000497	0.0004965
18	2.23041	0.0005929900	0.000593	0.00000633	0.0006326
19	2.52985	0.0008104070	0.0008104	0.00000869	0.0008694
20	1.71079	0.0001046930	0.0001047	0.00000116	0.0001162
21	3.40761	0.0023891200	0.0023891	0.00002624	0.0026233
22	2.039	0.0010445340	0.0010445	0.00001186	0.0011864

Lampiran 3 (Lanjutan)

Prediksi ke-	ARIMA	Q=0.01, R=0.01	Q=0.01, R=1	Q=1, R=0.01	Q=1, R=1
23	2.22669	0.0008873750	0.0008874	0.0000099	0.0009899
24	1.71522	0.0001287490	0.0001287	0.00000156	0.0001566
25	1.211369	0.0005212410	0.0005212	0.00000673	0.000574
26	0.503314	0.0011192750	0.0011193	0.00000856	0.0012513
27	0.2548	0.0010217840	0.0010218	0.00001157	0.0011565
28	0.37416	0.0008511690	0.0008512	0.00000964	0.0009636
29	0.94785	0.0007527770	0.0007528	0.00000858	0.0008584
30	1.27846	0.0005083700	0.0005084	0.00000582	0.0005822
31	1.86041	0.0004085870	0.0004086	0.00000468	0.0004683
32	2.55467	0.0003383530	0.0003384	0.00000389	0.0003889
33	0.96808	0.0000384928	0.000038	0.00000041	0.00004104
34	2.05684	0.0001048290	0.0001048	0.00000119	0.0001187
35	4.53217	0.0003075910	0.0003076	0.00000354	0.0003543
36	3.8435	0.0001274600	0.0001275	0.00000148	0.0001484
37	0.78121	0.0002302680	0.0002303	0.00000264	0.0002636
38	0.01208	0.0002911280	0.0002911	0.00000341	0.0003413
39	1.21909	0.0001021620	0.0001022	0.00000118	0.0001177
40	2.66312	0.0004982120	0.0004982	0.00000578	0.0005777
41	2.18421	0.0002523150	0.0002523	0.00000287	0.000287
42	0.92643	0.0001384620	0.0001385	0.00000167	0.0001666
43	0.44228	0.0000476205	0.0000476	0.00000054	0.00005395
44	0.17674	0.0000180348	0.0000180	0.00000022	0.00002248
45	0.37182	0.0000726292	0.0000726	0.00000085	0.00008488
46	0.30651	0.0000141992	0.0000014	0.00000017	0.00001668
47	1.92762	0.0004096280	0.0004096	0.00000483	0.0004825

Lampiran 3 (Lanjutan)

Prediksi ke-	ARIMA	Q=0.01, R=0.01	Q=0.01, R=1	Q=1, R=0.01	Q=1, R=1
48	0.89211	0.0002080840	0.0002081	0.00000253	0.0002528
49	2.63399	0.0007721110	0.0007721	0.00000919	0.0009192
50	0.23443	0.0002822020	0.0002822	0.00000324	0.0003239
51	1.34302	0.0000770323	0.000077	0.00000085	0.00008525
52	0.17435	0.0001799860	0.00018	0.0000021	0.0002103
53	2.24667	0.0006026340	0.0006026	0.00000732	0.0007322
54	3.34391	0.0003106590	0.0003107	0.00000382	0.0003823
55	1.95099	0.0002913550	0.0002914	0.00000349	0.0003489
56	0.76953	0.0001001570	0.0001002	0.00000131	0.0001315
57	0.01933	0.0000038781	0.00000388	0.00000007	0.00000714
58	0.41901	0.0000634941	0.0000635	0.00000077	0.00007744
59	0.29673	0.0001556870	0.0001557	0.00000194	0.0001938
60	0.69328	0.0002584710	0.0002585	0.0000032	0.0003202
61	1.56662	0.0003243390	0.0003243	0.000004	0.0003997
62	1.13098	0.0004204020	0.0004204	0.00000514	0.0005144

Lampiran 3 (Lanjutan)

Tabel 3. Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Kecepatan Angin menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 4$ dengan $\hat{x}_0 = [-15.65 \quad 15.65 \quad -15.65 \quad 15.65]^T$

Prediksi ke-	ARIMA	Q=0.01, R=0.01	Q=0.01, R=1	Q=1, R=0.01	Q=1, R=1
1	0.9951	0.0000428488	0.00000578407	0.00002164	0.00216386
2	1.31134	0.0000392945	0.00004203935	0.00000039	0.00003948
3	2.73658	0.0000396818	0.00004223063	0.0000004	0.00004042
4	2.26194	0.0000187619	0.00001952740	0.00000019	0.00001924
5	0.65657	0.0000117694	0.00001219692	0.00000012	0.00001209
6	0.76253	0.0000063367	0.00000660864	0.00000007	0.00000651
7	0.12578	0.0000010785	0.00000112949	0.00000001	0.00000111
8	0.65462	0.0000066067	0.00000689636	0.00000007	0.00000679
9	2.58205	0.0000117784	0.00001218175	0.00000012	0.00001215
10	5.76157	0.0000106611	0.00001081908	0.00000011	0.00001111
11	0.60642	0.0000031835	0.00000320071	0.00000003	0.00000332
12	0.98508	0.0000048625	0.00000492228	0.00000005	0.00000508
13	0.65021	0.0000064559	0.00000658753	0.00000007	0.00000675
14	1.13688	0.0000094273	0.00000970379	0.0000001	0.00000988
15	1.25975	0.0000141712	0.00001473525	0.00000015	0.00001488
16	1.19057	0.0000200891	0.00002112789	0.00000021	0.00002117
17	2.31832	0.0000313120	0.00003337134	0.00000033	0.00003315
18	2.23041	0.0000463062	0.00005007670	0.00000049	0.00004929
19	2.52985	0.0000680435	0.00007481021	0.00000073	0.00007295
20	1.71079	0.0000136664	0.00001513605	0.00000015	0.00001464
21	3.40761	0.0002285497	0.00025873409	0.00000252	0.00025181
22	2.039	0.0001414122	0.00016365850	0.00000157	0.00015679

Lampiran 3 (Lanjutan)

Prediksi ke-	ARIMA	Q=0.01, R=0.01	Q=0.01, R=1	Q=1, R=0.01	Q=1, R=1
23	2.22669	0.0001008354	0.00011859808	0.00000112	0.00011247
24	1.71522	0.0000290206	0.00003407079	0.00000032	0.00003222
25	1.211369	0.0000487205	0.00005795176	0.00000044	0.00005465
26	0.503314	0.0001176033	0.00013700110	0.00000527	0.00013143
27	0.2548	0.0001033554	0.00011887276	0.00000116	0.00011636
28	0.37416	0.0000764370	0.00008638701	0.00000086	0.00008640
29	0.94785	0.0000623499	0.00006912247	0.00000071	0.00007080
30	1.27846	0.0000390128	0.00004244006	0.00000044	0.00004440
31	1.86041	0.0000280231	0.00002996892	0.00000032	0.00003196
32	2.55467	0.0000207548	0.00002180827	0.00000024	0.00002373
33	0.96808	0.0000009815	0.00000102573	0.00000001	0.00000113
34	2.05684	0.0000055124	0.00000573107	0.00000006	0.00000630
35	4.53217	0.0000147979	0.00001514627	0.00000017	0.00001701
36	3.8435	0.0000058742	0.00000589109	0.00000007	0.00000675
37	0.78121	0.0000104279	0.00001047149	0.00000012	0.00001204
38	0.01208	0.0000172766	0.00001766987	0.00000002	0.00002007
39	1.21909	0.0000050370	0.00000518570	0.00000006	0.00000586
40	2.66312	0.0000283521	0.00002943915	0.00000033	0.00003327
41	2.18421	0.0000111335	0.00001163552	0.00000013	0.00001312
42	0.92643	0.0000086249	0.00000890237	0.00000001	0.00001012
43	0.44228	0.0000019309	0.00000198590	0.00000002	0.00000227
44	0.17674	0.0000014145	0.00000145630	0.00000002	0.00000166
45	0.37182	0.0000039224	0.00000405280	0.00000005	0.00000461
46	0.30651	0.0000007891	0.00000081665	0.00000001	0.00000093
47	1.92762	0.0000252002	0.00002632915	0.00000003	0.00002981

Lampiran 3 (Lanjutan)

Prediksi ke-	ARIMA	Q=0.01, R=0.01	Q=0.01, R=1	Q=1, R=0.01	Q=1, R=1
48	0.89211	0.0000162508	0.00001722761	0.00000019	0.00001926
49	2.63399	0.0000564455	0.00006096415	0.00000068	0.00006773
50	0.23443	0.0000148002	0.00001616235	0.00000018	0.00001788
51	1.34302	0.0000028209	0.00000308170	0.00000003	0.00000343
52	0.17435	0.0000106854	0.00001159226	0.00000013	0.00001287
53	2.24667	0.0000353841	0.00003753588	0.00000043	0.00004297
54	3.34391	0.0000156751	0.00001606298	0.00000019	0.00001909
55	1.95099	0.0000140245	0.00001428552	0.00000017	0.00001715
56	0.76953	0.0000081300	0.00000839729	0.0000001	0.00000993
57	0.01933	0.0000008614	0.00000089256	0.00000001	0.00000105
58	0.41901	0.0000035936	0.00000373533	0.00000004	0.00000441
59	0.29673	0.0000103444	0.00001082382	0.00000013	0.00001271
60	0.69328	0.0000176181	0.00001865139	0.00000022	0.00002174
61	1.56662	0.0000224661	0.00002411786	0.00000028	0.00002786
62	1.13098	0.0000244724	0.00002617926	0.0000003	0.00003048

Lampiran 3 (Lanjutan)

Tabel 4. Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Tinggi Gelombang menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 2$ dengan $\hat{x}_0 = [-3 \ 3]^T$

Prediksi ke-	ARIMA	Q=0.01, R=0.01	Q=0.01, R=1	Q=1, R=0.01	Q=1, R=1
1	0.121549	0.0058063	0.4917082	0.0029349	0.2689045
2	0.192074	0.0047517	0.2334934	0.00007551	0.0325489
3	0.360369	0.0030808	0.1536669	0.00003031	0.0025462
4	0.647247	0.0497436	0.6363748	0.0009885	0.0797753
5	0.100957	0.0641305	0.8138881	0.000678	0.0634585
6	0.164703	0.0288399	0.2900974	0.0004711	0.0326892
7	0.005803	0.0061674	0.1366631	0.0001454	0.0154495
8	0.343108	0.0146497	0.048241	0.00007626	0.007571
9	1.631987	0.0104823	0.4466653	0.0004635	0.0406462
10	1.339382	0.0398109	0.94834	0.0005624	0.0538511
11	0.306069	0.0288494	0.9695095	0.0002783	0.0277619
12	0.826182	0.0166108	0.218674	0.0001943	0.0174455
13	0.515642	0.0063927	0.2392581	0.00005575	0.0046235
14	0.475458	0.0000433	0.1316832	0.00001215	0.0010379
15	0.220676	0.0059004	0.1652831	0.00004208	0.003824
16	0.231366	0.0019164	0.0603206	0.00003426	0.003094
17	0.0164	0.0050278	0.1027121	0.00002986	0.0025691
18	0.063157	0.0036829	0.0001342	0.00005626	0.0050914
19	0.12385	0.0043221	0.0494796	0.00001843	0.0013821
20	0.048175	0.0078207	0.0795299	0.00008816	0.0079579
21	0.330152	0.0120692	0.0879956	0.00008545	0.0070265
22	0.093564	0.0147248	0.1381887	0.000188	0.0168746

Lampiran 3 (Lanjutan)

Prediksi ke-	ARIMA	Q=0.01, R=0.01	Q=0.01, R=1	Q=1, R=0.01	Q=1, R=1
23	0.288403	0.0050099	0.0391708	0.00002286	0.0007071
24	0.185821	0.0090783	0.1384484	0.0001309	0.0116397
25	0.330326	0.0024529	0.078591	0.00002669	0.0028658
26	0.31957	0.008059	0.1501866	0.0001634	0.0144233
27	0.245107	0.0106848	0.2077273	0.0001593	0.0144983
28	0.378996	0.0012491	0.1467653	0.00006591	0.0065814
29	0.258154	0.0161486	0.247449	0.0002422	0.0210632
30	0.389466	0.0001454	0.1870424	0.0001015	0.0101905
31	0.265918	0.0198549	0.2890559	0.0003164	0.0263202
32	0.195487	0.0098798	0.2756211	0.0001003	0.0105875
33	0.399027	0.007603	0.1648682	0.00004456	0.0047205
34	0.062212	0.0343077	0.3699003	0.0003079	0.0247164
35	0.783518	0.0011948	0.2159744	0.0003112	0.0251905
36	1.060059	0.0229295	0.2438645	0.0003902	0.0365206
37	0.72479	0.0698976	0.9666176	0.0006746	0.0630696
38	0.429268	0.0426607	0.0727593	0.0007277	0.0599578
39	0.182269	0.0612698	0.4483338	0.0007167	0.0650498
40	0.577911	0.0450585	0.0091732	0.0004609	0.0306495
41	0.058556	0.0586137	0.4361383	0.0007636	0.0572134
42	0.076502	0.0117202	0.1963578	0.0003079	0.0190613
43	0.290202	0.0309042	0.0794153	0.0003361	0.0292721
44	0.064831	0.0247584	0.1565827	0.0003087	0.0226682
45	0.176712	0.0149846	0.0145916	0.0001836	0.012878
46	0.116841	0.0109177	0.0844311	0.0001849	0.0136386
47	0.43821	0.0070876	0.0220706	0.00005907	0.005457

Lampiran 3 (Lanjutan)

Prediksi ke-	ARIMA	Q=0.01, R=0.01	Q=0.01, R=1	Q=1, R=0.01	Q=1, R=1
48	0.321817	0.0432921	0.2719308	0.0007765	0.056958
49	0.415304	0.0245583	0.3079209	0.000474	0.0413968
50	0.155071	0.0528347	0.4645163	0.0007272	0.0559766
51	0.336711	0.0109512	0.2882922	0.000222	0.0046404
52	0.020617	0.0331619	0.4167802	0.0003489	0.0245666
53	0.379781	0.0096878	0.2621194	0.0004018	0.0247096
54	0.907272	0.0161992	0.0147616	0.0003095	0.0260961
55	0.437911	0.093197	0.7424096	0.0010341	0.0910697
56	0.099944	0.0461906	0.0749456	0.0007408	0.0514827
57	0.133473	0.0377156	0.1718893	0.0004318	0.0395464
58	0.039136	0.0065502	0.0603896	0.0001385	0.0063384
59	0.202464	0.0183393	0.0440547	0.0001893	0.0154694
60	0.181649	0.0147719	0.0825469	0.0002842	0.0185323
61	0.231596	0.0111879	0.1300145	0.0001926	0.015743
62	0.128733	0.0372161	0.2910208	0.0004302	0.0342923

Lampiran 3 (Lanjutan)

Tabel 5. Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Tinggi Gelombang menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 3$ dengan $\hat{x}_0 = [-3 \ 3 \ -3]^T$

Prediksi ke-	ARIMA	Q=0.01, R=0.01	Q=0.01, R=1	Q=1, R=0.01	Q=1, R=1
1	0.121549	0.004001942	0.3850183	0.00202138	0.1981921
2	0.192074	0.020807968	0.1012121	0.00029418	0.0180324
3	0.360369	0.017912664	0.4242923	0.00034705	0.0314013
4	0.647247	0.003874731	0.4725701	0.00019193	0.019123
5	0.100957	0.010529796	0.1656873	0.00012413	0.0121593
6	0.164703	0.003169102	0.0074125	0.00001296	0.0010576
7	0.005803	0.004254925	0.1902766	0.00010376	0.0097588
8	0.343108	0.006260190	0.1607243	0.00011555	0.0110272
9	1.631987	0.004588329	0.3842239	0.00014666	0.0145765
10	1.339382	0.000410762	0.10644	0.00002627	0.0026634
11	0.306069	0.001244162	0.100502	0.00001509	0.0015061
12	0.826182	0.000467269	0.0272283	0.00000326	0.0003221
13	0.515642	0.000621975	0.0534161	0.00000953	0.0009539
14	0.475458	0.000185188	0.0234861	0.00000367	0.0003687
15	0.220676	0.000702431	0.0640339	0.00001123	0.0011249
16	0.231366	0.000145606	0.0229518	0.00000378	0.0003807
17	0.0164	0.000808925	0.0707937	0.00001353	0.0013544
18	0.063157	0.000098412	0.0224538	0.000004	0.0004041
19	0.12385	0.000948240	0.0786215	0.00001663	0.0016635
20	0.048175	0.000470809	0.0172131	0.00000476	0.0004688
21	0.330152	0.002093626	0.1470206	0.00003697	0.0034901
22	0.093564	0.000622639	0.0022518	0.000003	0.00007665

Lampiran 3 (Lanjutan)

Prediksi ke-	ARIMA	Q=0.01, R=0.01	Q=0.01, R=1	Q=1, R=0.01	Q=1, R=1
23	0.288403	0.001517495	0.1003519	0.00003125	0.0028164
24	0.185821	0.000215640	0.023554	0.00000614	0.0005324
25	0.330326	0.001585405	0.1024624	0.00003011	0.0033883
26	0.31957	0.000621886	0.0805024	0.00002888	0.0028946
27	0.245107	0.000394692	0.0239109	0.00000618	0.0009389
28	0.378996	0.002007964	0.1054898	0.00004946	0.0052733
29	0.258154	0.001451038	0.0090638	0.00000817	0.0004992
30	0.389466	0.002057159	0.0911396	0.0000662	0.0068591
31	0.265918	0.002768842	0.0116797	0.00000214	0.0001484
32	0.195487	0.001518715	0.0422925	0.0000182	0.0014583
33	0.399027	0.003246202	0.0827345	0.00010505	0.0103586
34	0.062212	0.007672187	0.1819978	0.00014261	0.0134907
35	0.783518	0.001818111	0.2274512	0.00009405	0.0094492
36	1.060059	0.000617936	0.1063534	0.00003007	0.0030551
37	0.72479	0.006391341	0.437061	0.00008231	0.0082127
38	0.429268	0.000131243	0.1601403	0.00005158	0.0054307
39	0.182269	0.007562298	0.1945457	0.00006925	0.0066892
40	0.577911	0.009097073	0.2031442	0.00016189	0.0155879
41	0.058556	0.011708386	0.1980723	0.00013834	0.0129469
42	0.076502	0.003209948	0.0336698	0.00000738	0.0004004
43	0.290202	0.004753194	0.1370024	0.00005961	0.0056343
44	0.064831	0.004147606	0.081014	0.00005196	0.0049948
45	0.176712	0.002647355	0.058101	0.00003896	0.003552
46	0.116841	0.002177323	0.0210594	0.00001154	0.0011134
47	0.43821	0.000564601	0.0400188	0.00005545	0.0054988

Lampiran 3 (Lanjutan)

Prediksi ke-	ARIMA	Q=0.01, R=0.01	Q=0.01, R=1	Q=1, R=0.01	Q=1, R=1
48	0.321817	0.019282122	0.2126215	0.00014733	0.0127999
49	0.415304	0.021532184	0.3088368	0.00015315	0.0142139
50	0.155071	0.023387891	0.4088734	0.00025595	0.022787
51	0.336711	0.000635733	0.2626615	0.00004522	0.0019213
52	0.020617	0.001867226	0.2516983	0.00005984	0.005458
53	0.379781	0.009922981	0.0276627	0.00007166	0.0058566
54	0.907272	0.000028184	0.0218248	0.00002348	0.002281
55	0.437911	0.013096200	0.518221	0.0001436	0.0140439
56	0.099944	0.005266996	0.0554492	0.00003502	0.0034834
57	0.133473	0.006339255	0.1188761	0.00006125	0.0059082
58	0.039136	0.002099495	0.013304	0.00002359	0.0021098
59	0.202464	0.004540484	0.0724367	0.00006001	0.0054223
60	0.181649	0.005361885	0.0532825	0.00005161	0.0044057
61	0.231596	0.006331949	0.1189909	0.0000636	0.0054748
62	0.128733	0.008150050	0.1913595	0.00009267	0.0087788

Lampiran 3 (Lanjutan)

Tabel 6. Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Tinggi Gelombang menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 4$ dengan $\hat{x}_0 = [-3 \ 3 \ -3 \ 3]^T$

Prediksi ke-	ARIMA	Q=0.01, R=0.01	Q=0.01, R=1	Q=1, R=0.01	Q=1, R=1
1	0.121549	0.001586842	0.1572907	0.00080139	0.07978212
2	0.192074	0.009775169	0.3127807	0.00013303	0.01247506
3	0.360369	0.005879887	0.2994653	0.00012631	0.01225975
4	0.647247	0.004453776	0.3571837	0.00011634	0.01159103
5	0.100957	0.000660167	0.0843383	0.00000049	0.00017559
6	0.164703	0.001232414	0.0891525	0.00002265	0.00225865
7	0.005803	0.001253224	0.1260749	0.00003874	0.00416124
8	0.343108	0.000588201	0.0402165	0.00002933	0.00291098
9	1.631987	0.001129149	0.1059584	0.00003871	0.00386990
10	1.339382	0.000353875	0.0372335	0.00000082	0.00082055
11	0.306069	0.000008327	0.0009512	0.00000065	0.00006506
12	0.826182	0.000042522	0.0043573	0.00000074	0.00007428
13	0.515642	0.000039028	0.0041992	0.00000114	0.00011444
14	0.475458	0.000026644	0.0028324	0.00000069	0.00006911
15	0.220676	0.000049300	0.0052986	0.00000151	0.00015116
16	0.231366	0.000036537	0.00387	0.00000094	0.00009431
17	0.0164	0.000062127	0.0066887	0.00000202	0.00020224
18	0.063157	0.000050009	0.0052769	0.0000013	0.00013012
19	0.12385	0.000077941	0.0084095	0.00000274	0.00027463
20	0.048175	0.000025746	0.0026221	0.00000026	0.00002578
21	0.330152	0.000116498	0.0129697	0.0000033	0.00052856
22	0.093564	0.000128045	0.0134707	0.00000104	0.00029237

Lampiran 3 (Lanjutan)

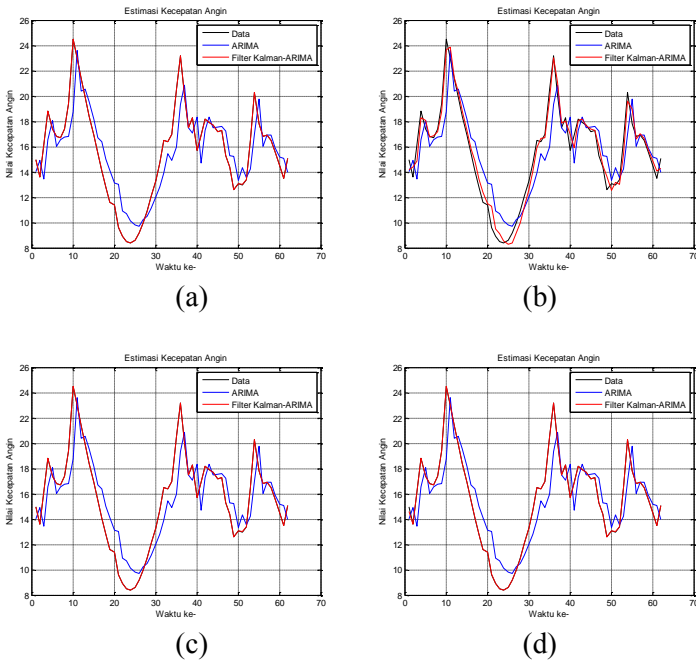
Prediksi ke-	ARIMA	Q=0.01, R=0.01	Q=0.01, R=1	Q=1, R=0.01	Q=1, R=1
23	0.288403	0.000102154	0.0117066	0.0000022	0.00051724
24	0.185821	0.000133052	0.013677	0.00000279	0.00037793
25	0.330326	0.000142391	0.0151865	0.00001167	0.00077146
26	0.31957	0.000256486	0.0258992	0.000011	0.00110040
27	0.245107	0.000212462	0.0211785	0.00001018	0.00072196
28	0.378996	0.000141052	0.0164805	0.00001886	0.00148978
29	0.258154	0.000370307	0.0324774	0.00000802	0.00119848
30	0.389466	0.000063309	0.0134307	0.00002691	0.00229271
31	0.265918	0.000594620	0.042828	0.00002189	0.00198881
32	0.195487	0.000245854	0.0241617	0.00000543	0.00025062
33	0.399027	0.000487723	0.0172753	0.00003603	0.00328811
34	0.062212	0.001195377	0.0649916	0.00001649	0.00163059
35	0.783518	0.000586837	0.0434637	0.00003052	0.00304914
36	1.060059	0.000423538	0.0420905	0.00001002	0.00100382
37	0.72479	0.000053186	0.0061989	0.00000564	0.00056550
38	0.429268	0.000780047	0.0721844	0.00003056	0.00286065
39	0.182269	0.000928365	0.0815336	0.00001244	0.00124509
40	0.577911	0.002087126	0.1273936	0.00000722	0.00082919
41	0.058556	0.002242433	0.1097507	0.00001678	0.00166711
42	0.076502	0.000348006	0.0017727	0.00001426	0.00141813
43	0.290202	0.000666344	0.0498648	0.00000499	0.00030114
44	0.064831	0.000573246	0.0361377	0.00000247	0.00024441
45	0.176712	0.000384411	0.0241121	0.00000221	0.00002131
46	0.116841	0.000263072	0.0123598	0.00000597	0.00069381
47	0.43821	0.001349007	0.0840649	0.00001453	0.00145253

Lampiran 3 (Lanjutan)

Prediksi ke-	ARIMA	Q=0.01, R=0.01	Q=0.01, R=1	Q=1, R=0.01	Q=1, R=1
48	0.321817	0.001094170	0.0038041	0.00004811	0.00444917
49	0.415304	0.001975271	0.0634625	0.00001779	0.00219564
50	0.155071	0.008945564	0.1153463	0.00009571	0.00909087
51	0.336711	0.005317009	0.0334452	0.00004858	0.00408019
52	0.020617	0.005701410	0.1565556	0.0000468	0.00437773
53	0.379781	0.001227399	0.0513576	0.00003179	0.00295618
54	0.907272	0.000778783	0.0424122	0.00001622	0.00160712
55	0.437911	0.000950035	0.0810808	0.00000661	0.00056403
56	0.099944	0.001184441	0.0707712	0.00001662	0.00203790
57	0.133473	0.001103668	0.0792804	0.00001303	0.00129721
58	0.039136	0.000400081	0.0037103	0.00000408	0.00039925
59	0.202464	0.001181518	0.0665683	0.00001125	0.00073642
60	0.181649	0.000455583	0.0165005	0.00001054	0.00090726
61	0.231596	0.000220597	0.0315624	0.00000048	0.00004996
62	0.128733	0.003473415	0.1246535	0.0000336	0.00330260

Lampiran 4

Grafik Perbandingan Data Aktual, ARIMA, Filter Kalman-ARIMA



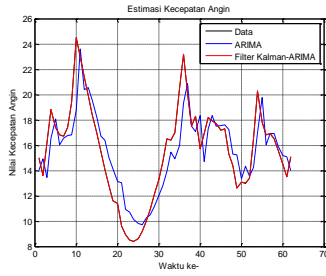
Gambar 1. Hasil Simulasi Kecepatan Angin pada Filter Kalman

$n = 2$ dengan $\hat{x}_0 = [14 \quad -13]^T$ dan

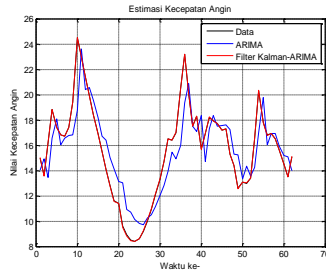
(a) $Q = 0.01, R = 0.01$ (b) $Q = 0.01, R = 1$

(c) $Q = 1, R = 0.01$ (d) $Q = 1, R = 1$

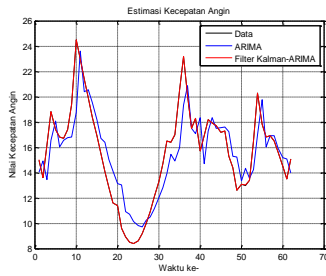
Lampiran 4 (Lanjutan)



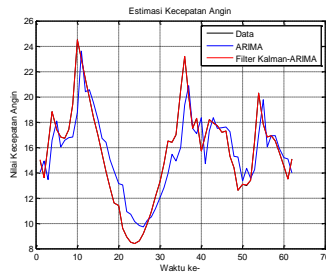
(a)



(b)



(c)



(d)

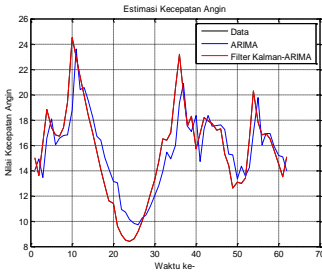
Gambar 2. Hasil Simulasi Kecepatan Angin pada Filter Kalman

$n = 3$ dengan $\hat{x}_0 = [10 \ -11 \ 2]^T$ dan

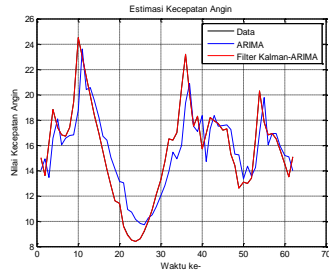
(a) $Q = 0.01, R = 0.01$ (b) $Q = 0.01, R = 1$

(c) $Q = 1, R = 0.01$ (d) $Q = 1, R = 1$

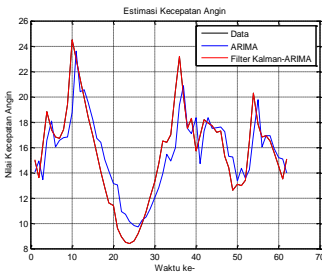
Lampiran 4 (Lanjutan)



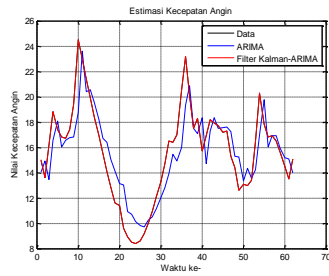
(a)



(b)



(c)



(d)

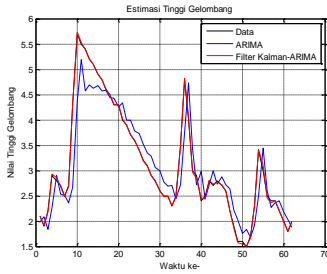
Gambar 3. Hasil Simulasi Kecepatan Angin pada Filter Kalman

$n = 4$ dengan $\hat{x}_0 = [10 \quad -5 \quad -15 \quad 3]^T$ dan

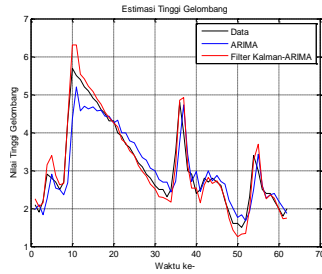
(a) $Q = 0.01, R = 0.01$ (b) $Q = 0.01, R = 1$

(c) $Q = 1, R = 0.01$ (d) $Q = 1, R = 1$

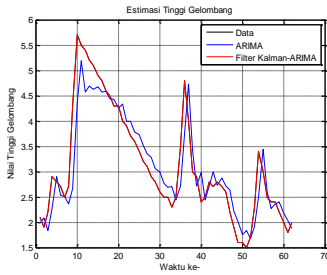
Lampiran 4 (Lanjutan)



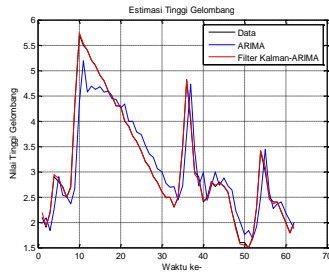
(a)



(b)



(c)



(d)

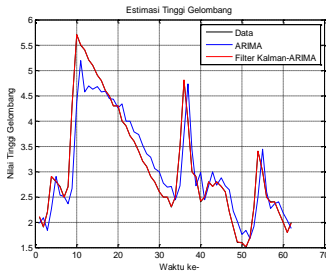
Gambar 4. Hasil Simulasi Tinggi Gelombang pada Filter Kalman

$n = 2$ dengan $\hat{x}_0 = [-2 \quad 1.5]^T$ dan

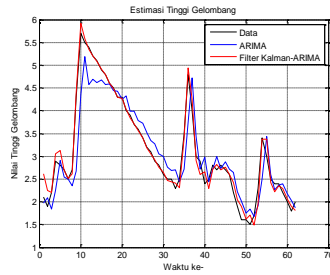
(a) $Q = 0.01, R = 0.01$ (b) $Q = 0.01, R = 1$

(c) $Q = 1, R = 0.01$ (d) $Q = 1, R = 1$

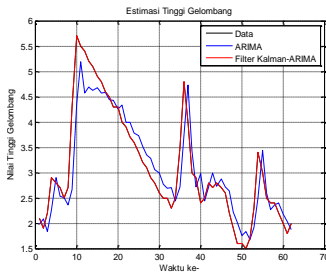
Lampiran 4 (Lanjutan)



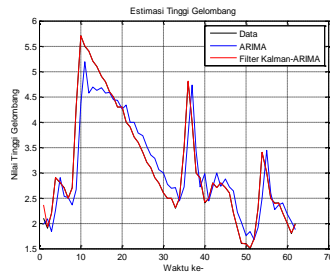
(a)



(b)



(c)



(d)

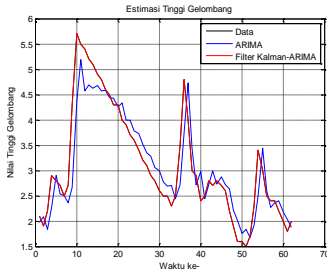
Gambar 5. Hasil Simulasi Tinggi Gelombang pada Filter Kalman

$n = 3$ dengan $\hat{x}_0 = [2.3 \quad -1 \quad 3]^T$ dan

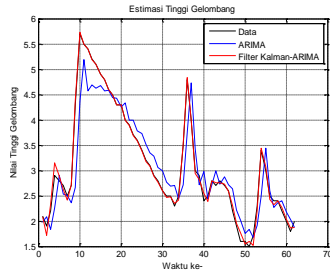
(a) $Q = 0.01, R = 0.01$ (b) $Q = 0.01, R = 1$

(c) $Q = 1, R = 0.01$ (d) $Q = 1, R = 1$

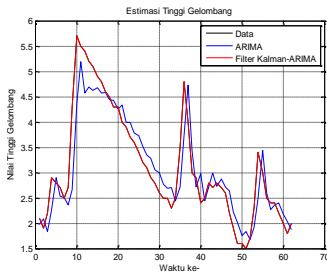
Lampiran 4 (Lanjutan)



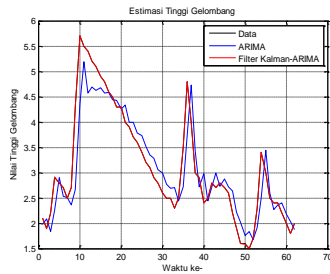
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 6. Hasil Simulasi Tinggi Gelombang pada Filter Kalman

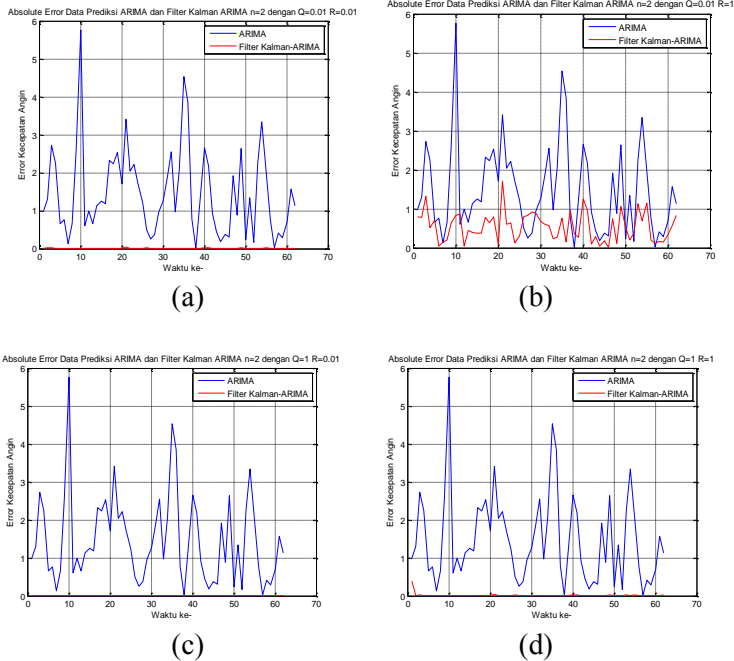
$n = 4$ dengan $\hat{x}_0 = [-1.65 \quad 2 \quad -3 \quad 1]^T$ dan

(a) $Q = 0.01, R = 0.01$ (b) $Q = 0.01, R = 1$

(c) $Q = 1, R = 0.01$ (d) $Q = 1, R = 1$

Lampiran 5

Grafik Nilai Mutlak Kesalahan ARIMA dan Filter Kalman



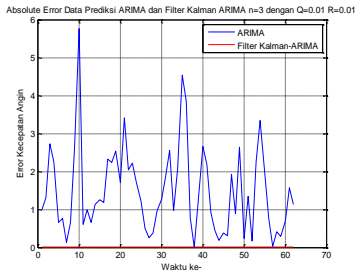
Gambar 1. Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Kecepatan Angin menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 2$ dengan

$$\hat{x}_0 = [14 \quad -13]^T \text{ dan}$$

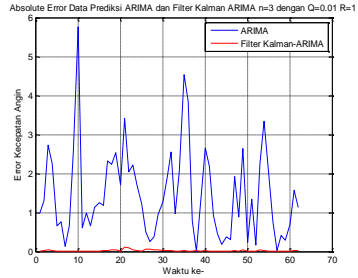
(a) $Q = 0.01, R = 0.01$ (b) $Q = 0.01, R = 1$

(c) $Q = 1, R = 0.01$ (d) $Q = 1, R = 1$

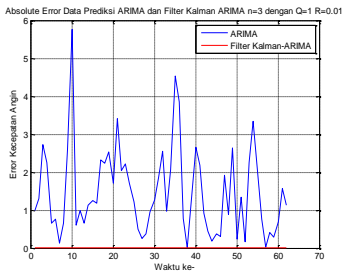
Lampiran 5 (Lanjutan)



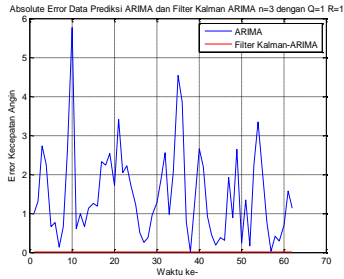
(a)



(b)



(c)



(d)

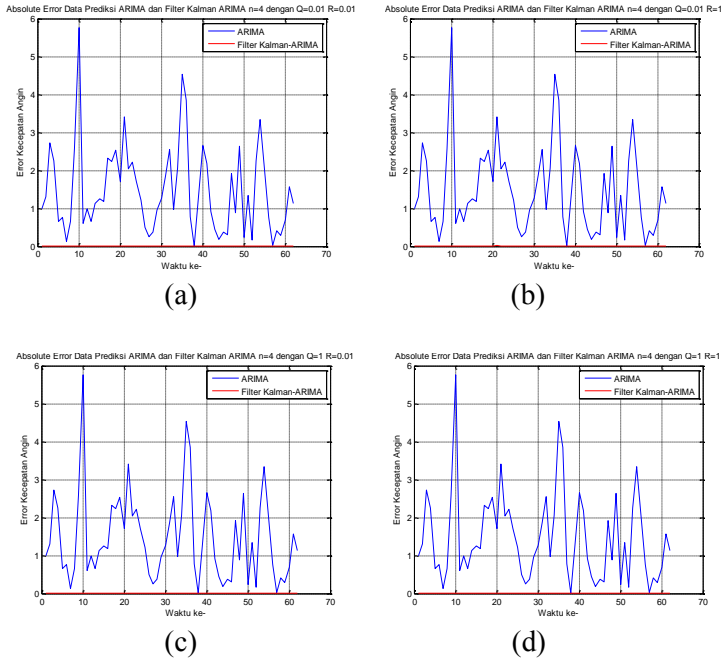
Gambar 2. Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Kecepatan Angin menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 3$ dengan

$$\hat{x}_0 = [10 \quad -11 \quad 2]^T \text{ dan}$$

(a) $Q = 0.01, R = 0.01$ (b) $Q = 0.01, R = 1$

(c) $Q = 1, R = 0.01$ (d) $Q = 1, R = 1$

Lampiran 5 (Lanjutan)



Gambar 3. Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Kecepatan Angin menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 4$ dengan

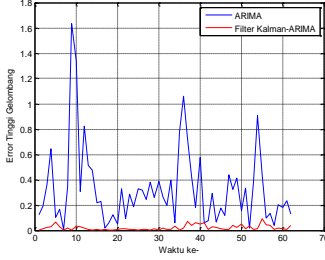
$$\hat{x}_0 = [10 \quad -5 \quad -15 \quad 3]^T \text{ dan}$$

(a) $Q = 0.01, R = 0.01$ (b) $Q = 0.01, R = 1$

(c) $Q = 1, R = 0.01$ (d) $Q = 1, R = 1$

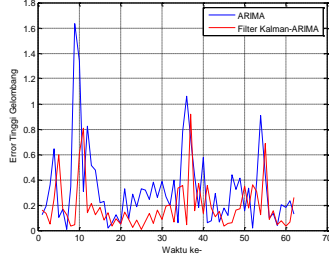
Lampiran 5 (Lanjutan)

Absolute Error Data Prediksi ARIMA dan Filter Kalman ARIMA $n=2$ dengan $Q=0.01$, $R=0.01$



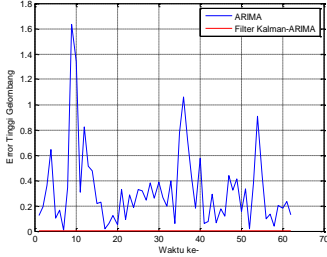
(a)

Absolute Error Data Prediksi ARIMA dan Filter Kalman ARIMA $n=2$ dengan $Q=0.01$, $R=1$



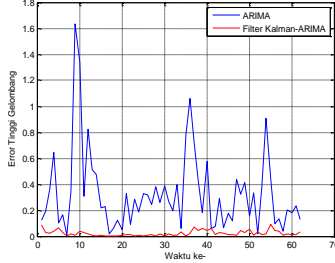
(b)

Absolute Error Data Prediksi ARIMA dan Filter Kalman ARIMA $n=2$ dengan $Q=1$, $R=0.01$



(c)

Absolute Error Data Prediksi ARIMA dan Filter Kalman ARIMA $n=2$ dengan $Q=1$, $R=1$



(d)

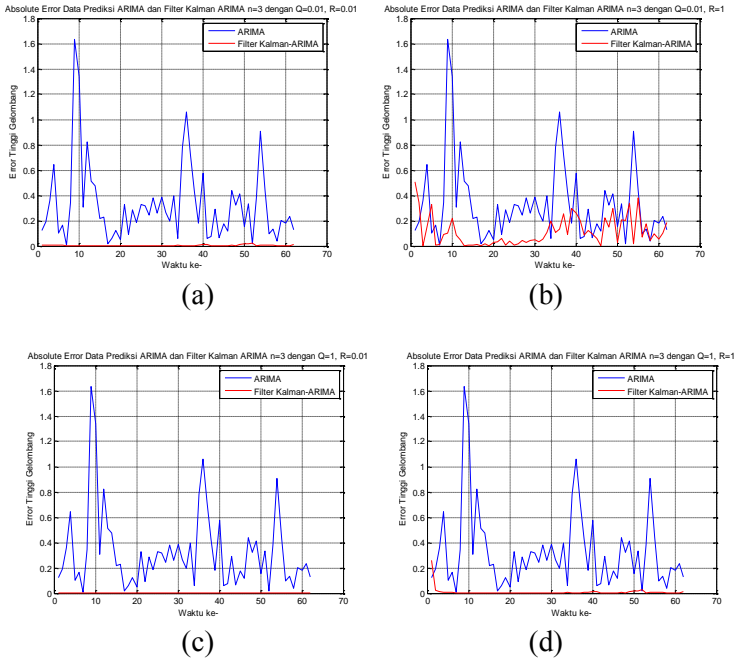
Gambar 4. Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Tinggi Gelombang menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 2$ dengan

$$\hat{x}_0 = [-2 \quad 1.5]^T \text{ dan}$$

(a) $Q = 0.01$, $R = 0.01$ (b) $Q = 0.01$, $R = 1$

(c) $Q = 1$, $R = 0.01$ (d) $Q = 1$, $R = 1$

Lampiran 5 (Lanjutan)



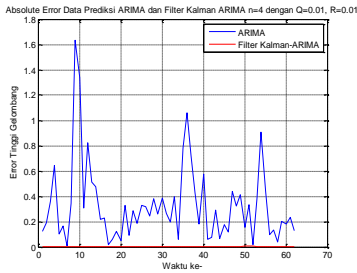
Gambar 5. Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Tinggi Gelombang menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 3$ dengan

$$\hat{x}_0 = [2.3 \quad -1 \quad 3]^T \text{ dan}$$

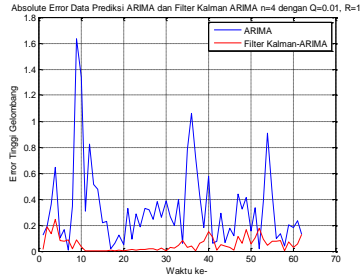
(a) $Q = 0.01$, $R = 0.01$ (b) $Q = 0.01$, $R = 1$

(c) $Q = 1$, $R = 0.01$ (d) $Q = 1$, $R = 1$

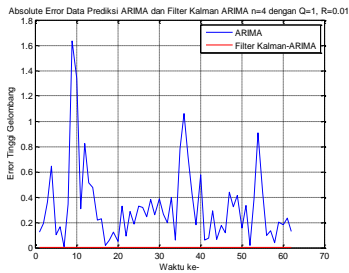
Lampiran 5 (Lanjutan)



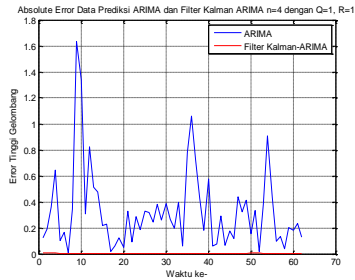
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 6. Nilai Mutlak Kesalahan Prediksi Tinggi Gelombang menggunakan ARIMA dan Filter Kalman $n = 4$ dengan

$$\hat{x}_0 = [-1.65 \quad 2 \quad -3 \quad 1]^T \text{ dan}$$

(a) $Q = 0.01$, $R = 0.01$ (b) $Q = 0.01$, $R = 1$

(c) $Q = 1$, $R = 0.01$ (d) $Q = 1$, $R = 1$

Lampiran 6

Listing Program Filter Kalman $n = 2$ Kecepatan Angin

```

clc
clear all

disp('LISTING PROGRAM POLINOMIAL DERAJAT SATU
ATAU n= 2');
disp('          DATA KECEPATAN ANGIN          ');
disp('          Oleh:          ');
disp('          Rizky Budiati Wahyuningtyas          ');
disp('          1211100082          ');
disp('          ');

%Tahap inisialisasi
n=input('Masukkan banyak data (maksimal 62):');
Q=input('Q : ');%System noise strength
R=input('R : ');%Measurement noise strength
a00=input('a00 : ');
a10=input('a10 : ');
tic;
A=eye(2);%Nilai matrik dalam sistem
Qk=eye(2)*Q;%Nilai matrik error kovarian noise
Rk=R;%Nilai matrik error kovarian measurement
xtopi(:,1)=[a00 a10];%Nilai matrik x0 awal
%Nilai matrik error kovarian sistem awal
p(:,1)=[1,0];
p(:,2)=[0,1];

%Data yang diperlukan
a=xlsread('kecangin.xlsx',1);%Databmkg_kecangin
b=xlsread('kecangin.xlsx',2);%Data
forecasting_kecangin ARIMA
c=xlsread('kecangin.xlsx',3);%Databias_kecangin
H=[ones(62,1),a];

%Tahap Prediksi dan Koreksi

```


Lampiran 6 (Lanjutan)

```

for i = 1:n
    %Prediksi
    xf(:,i)=A*xtopi(:,i);
    ptopi=[p(1,2*i-1) p(1,2*i); p(2,2*i-1)
    p(2,2*i)];
    pf=A*ptopi*A'+Qk;
    %Koreksi
    kg=pf*H(i,:)'*inv((H(i,:) *pf*H(i,:)'+Rk));%Kalman gain
    ptopi=pf-(kg*H(i,:) *pf);
    p(:,2*i+1)=ptopi(:,1);
    p(:,2*i+2)=ptopi(:,2);
    xtopi(:,i+1)=xf(:,i)+kg*(c(i,:)-
    (H(i,:) *xf(:,i)));
end

hasil=strcat('nilai a0
=',num2str(xtopi(1,n)),'dan a1 = ',
num2str(xtopi(2,n)));

%plot nilai a0 dan a1
figure(1)
set(plot(xtopi(1,:)),'color','black')
hold on
set(plot(xtopi(2,:)),'color','red')
grid on
title('Estimasi Koefisien Polinomial a0,i dan
a1,i');
xlabel('Waktu ke-');
ylabel('Nilai Koefisien');
legend('a0','a1');

%plot data aktual, ARIMA, Filter Kalman ARIMA
figure(2)
for i=1:n

```

Lampiran 6 (Lanjutan)

```

    bias(i)=xtopi(1,i+1)+xtopi(2,i+1)*a(i);
    kf(i)=bias(i)+b(i);
    ape(i)=(abs(a(i)-kf(i))/a(i))*100;
    sape(1)=0;
    sape(i+1)=ape(i)+sape(i);
end
mape=sape(i+1)/n;
hasil2=strcat('Nilai MAPE= ',num2str(mape));
set(plot(a),'color','black')
hold on
set(plot(b),'color','blue')
hold on
set(plot(kf),'color','red')
grid on
title('Estimasi Kecepatan Angin');
xlabel('Waktu ke-');
ylabel('Nilai Kecepatan Angin');
legend('Data','ARIMA','Filter Kalman-ARIMA');
waktu=toc;
hasilwaktu=strcat('Waktu= ',num2str(waktu));

```

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Lampiran 7

Listing Program Filter Kalman $n = 3$ Kecepatan Angin

```

clc
clear all
disp('          LISTING PROGRAM POLINOMIAL DERAJAT
DUA ATAU n= 3          ');
disp('          DATA KECEPATAN ANGIN          ');
disp('          Oleh:          ');
disp('          Rizky Budiati Wahyuningtyas          ');
disp('          1211100082          ');
disp('          ');
%Tahap inisialisasi
n=input('Masukkan banyak data (maksimal 62):');
Q=input('Q : ');%System noise strength
R=input('R : ');%Measurement noise strength
a00=input('a00 : ');
a10=input('a10 : ');
a20=input('a20 : ');
tic;
A=eye(3);%Nilai matrik dalam sistem
Qk=eye(3)*Q;%Nilai matrik error kovarian noise
Rk=R;%Nilai matrik error kovarian measurement
xtopi(:,1)=[a00 a10 a20]; %Nilai matrik xo
awal
%Nilai matrik error kovarian sistem awal
p(:,1)=[1,0,0];
p(:,2)=[0,1,0];
p(:,3)=[0,0,1];

%Data yang diperlukan
a=xlsread('kecangin.xlsx',1);%Data bmkkg_kecangin
b=xlsread('kecangin.xlsx',2);%Data
ARIMA_kecangin
c=xlsread('kecangin.xlsx',3);%Data bias_kecangin
d=xlsread('kecangin.xlsx',4);%Data(bmkkg_kecangin
)^2
H=[ones(62,1),a,d];

```

Lampiran 7 (Lanjutan)

```
%Tahap Prediksi dan Koreksi
for i = 1:n
    %Prediksi
    xf(:,i)=A*xtopi(:,i);
    ptopi=[p(1,3*i-2) p(1,3*i-1) p(1,3*i);
           p(2,3*i-2) p(2,3*i-1) p(2,3*i); p(3,3*i-2)
           p(3,3*i-1) p(3,3*i)];
    pf=A*ptopi*A'+Qk;
    %Koreksi
    kg=pf*H(i,:)'*inv((H(i,:)*pf*H(i,:)' +Rk));%Ka
    lman gain
    ptopi=pf-(kg*H(i,:)*pf);
    p(:,3*i+1)=ptopi(:,1);
    p(:,3*i+2)=ptopi(:,2);
    p(:,3*i+3)=ptopi(:,3);
    xtopi(:,i+1)=xf(:,i)+kg*(c(i,:)-
        (H(i,:)*xf(:,i)));
end
hasil=strcat('nilai a0 =
',num2str(xtopi(1,n)),' a1= ',
num2str(xtopi(2,n)),' dan
a2=',num2str(xtopi(3,n)));

%plot nilai a0,a1, dan a2
figure(1)
set(plot(xtopi(1,:)),'color','black')
hold on
set(plot(xtopi(2,:)),'color','red')
hold on
set(plot(xtopi(3,:)),'color','blue')
grid on
title('Estimasi Koefisien Polinomial');
xlabel('Waktu ke-');
ylabel('Nilai Koefisien');
legend('a0','a1','a2');
```

Lampiran 7 (Lanjutan)

```
%plot data, ARIMA, dan Filter Kalman ARIMA
figure(2)
for i=1:n

bias(i)=xtopi(1,i+1)+xtopi(2,i+1)*a(i)+xtopi(3,i
+1)*d(i);
    kf(i)=bias(i)+ b(i);
    ape(i)=(abs(a(i)-kf(i))/a(i))*100;
    sape(1)=0;
    sape(i+1)=ape(i)+sape(i);
end
mape=sape(i+1)/n;
hasil2=strcat('Nilai MAPE= ',num2str(mape));
set(plot(a),'color','black')
hold on
set(plot(b),'color','blue')
hold on
set(plot(kf),'color','red')
grid on
title('Estimasi Kecepatan Angin');
xlabel('Waktu ke-');
ylabel('Nilai Kecepatan Angin');
legend('Data','ARIMA','Filter Kalman-ARIMA');
waktu=toc;
hasilwaktu=strcat('Waktu= ',num2str(waktu));
```

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Lampiran 8

Listing Program Filter Kalman $n = 4$ Kecepatan Angin

```

clc
clear all

disp('          LISTING PROGRAM POLINOMIAL
DERAJAT TIGA ATAU n= 4          ');
disp('          DATA KECEPATAN ANGIN          ');
disp('          Oleh:          ');
disp('          Rizky Budiati Wahyuningtyas          ');
disp('          1211100082          ');
disp('          ');

%Tahap inisialisasi
n=input('Masukkan banyak data (maksimal 62):');
Q=input('Q : ');%System noise strength
R=input('R : ');%Measurement noise strength
a00=input('a00 : ');
a10=input('a10 : ');
a20=input('a20 : ');
a30=input('a30 : ');
tic;
A=eye(4);%Nilai matrik dalam sistem
Qk=eye(4)*Q;%Nilai matrik error kovarian noise
Rk=R;%Nilai matrik error kovarian measurement
xtopi(:,1)=[a00 a10 a20 a30]; %Nilai matrik xo
awal
%Nilai matrik error kovarian sistem awal
p(:,1)=[1,0,0,0];
p(:,2)=[0,1,0,0];
p(:,3)=[0,0,1,0];
p(:,4)=[0,0,0,1];

%Data yang diperlukan
a=xlsread('kecangin.xlsx',1);%Databmkg_kecangin
b=xlsread('kecangin.xlsx',2);%Data
ARIMA_kecangin

```


Lampiran 8 (Lanjutan)

```

c=xlsread('kecangin.xlsx',3);%Databias_kecangin
d=xlsread('kecangin.xlsx',4);%Data(bmkg_kecangin)
)^2
e=xlsread('kecangin.xlsx',5);%Data(bmkg_kecangin)
)^3
H=[ones(62,1),a,d,e];

% Tahap Prediksi dan Koreksi
for i = 1:n
    %Prediksi
    xf(:,i)=A*xtopi(:,i);
    ptopi=[p(1,4*i-3) p(1,4*i-2) p(1,4*i-1)
            p(1,4*i); p(2,4*i-3) p(2,4*i-2) p(2,4*i-1)
            p(2,4*i); p(3,4*i-3) p(3,4*i-2) p(3,4*i-1)
            p(3,4*i); p(4,4*i-3) p(4,4*i-2) p(4,4*i-1)
            p(4,4*i)];
    pf=A*ptopi*A'+Qk;
    %Koreksi
    kg=pf*H(i,:)'*inv((H(i,:)*pf*H(i,:)' +Rk));%Kalan gain
    ptopi=pf-(kg*H(i,:)*pf);
    p(:,4*i+1)=ptopi(:,1);
    p(:,4*i+2)=ptopi(:,2);
    p(:,4*i+3)=ptopi(:,3);
    p(:,4*i+4)=ptopi(:,4);
    xtopi(:,1+i)=xf(:,i)+kg*(c(i,:)-(H(i,:)*xf(:,i)));
end
hasil=strcat('nilai a0 =',num2str(xtopi(1,n)),' a1= ',num2str(xtopi(2,n)),
'a2=',num2str(xtopi(3,n)),'dan a3=',num2str(xtopi(4,n)));

%plot nilai a0,a1,a2 dan a3
figure(1)

```

Lampiran 8 (Lanjutan)

```

set(plot(xtopi(1,:), 'color', 'black')
hold on
set(plot(xtopi(2,:), 'color', 'red')
hold on
set(plot(xtopi(3,:), 'color', 'blue')
hold on
set(plot(xtopi(4,:), 'color', 'green')
grid on
title('Estimasi Koefisien Polinomial');
xlabel('Waktu ke-');
ylabel('Nilai Koefisien');
legend('a0', 'a1', 'a2', 'a3');

%plot data, ARIMA, Filter Kalman
figure(2)
for i=1:n
    bias(i)=xtopi(1,i+1)+xtopi(2,i+1)*a(i)+
        xtopi(3,i+1)*d(i)+xtopi(4,i+1)*e(i);
    kf(i)=bias(i)+b(i);
    ape(i)=(abs(a(i)-kf(i))/a(i))*100;
    sape(1)=0;
    sape(i+1)=ape(i)+sape(i);
end
mape=sape(i+1)/n;
hasil2=strcat('Nilai MAPE= ', num2str(mape));
set(plot(a), 'color', 'black')
hold on

set(plot(b), 'color', 'blue')
hold on
set(plot(kf), 'color', 'red')
grid on
title('Estimasi Kecepatan Angin');
xlabel('Waktu ke-');
ylabel('Nilai Kecepatan Angin');
legend('Data', 'ARIMA', 'Filter Kalman-ARIMA');
```

Lampiran 8 (Lanjutan)

```
waktu=toc;  
hasilwaktu=strcat('Waktu= ',num2str(waktu));
```

Lampiran 9

Listing Program Filter Kalman $n = 2$ Tinggi Gelombang

```

clc
clear all

disp('          LISTING PROGRAM POLINOMIAL
DERAJAT DUA ATAU n= 2          ');
disp('          DATA TINGGI GELOMBANG          ');
disp('          Oleh:          ');
disp('          Rizky Budiati Wahyuningtyas          ');
disp('          1211100082          ');
disp('          ');

%Tahap inisialisasi
n=input('Masukkan banyak data (maksimal 62):');
Q=input('Q : ');%System noise strength
R=input('R : ');%Nilai matrik error kovarian
measurement
a00=input('a00 : ');
a10=input('a10 : ');
tic;
A=eye(2);%Nilai matrik dalam sistem
Qk=eye(2)*Q;%Nilai matrik error kovarian noise
Rk=R;%Nilai matrik error kovarian measurement
xtopi(:,1)=[a00 a10];%Nilai matrik x0 awal
%Nilai matrik error kovarian sistem awal
p(:,1)=[1,0];
p(:,2)=[0,1];

%Data yang diperlukan
a=xlsread('tinggel.xlsx',1);%Data bmkg_tinggel
b=xlsread('tinggel.xlsx',2);%Data
forecasting_tinggel ARIMA
c=xlsread('tinggel.xlsx',3);%Data bias_tinggel
H=[ones(62,1),a];

```

Lampiran 9 (Lanjutan)

```
%Tahap Prediksi dan Koreksi
for i = 1:n
    %Prediksi
    xf(:,i)=A*xtopi(:,i);
    ptopi=[p(1,2*i-1) p(1,2*i); p(2,2*i-1)
    p(2,2*i)];
    pf=A*ptopi*A'+Qk;
    %Koreksi
    kg=pf*H(i,:)'*inv((H(i,:)*pf*H(i,:)' +Rk));%Kalman gain
    ptopi=pf-(kg*H(i,:)*pf);
    p(:,2*i+1)=ptopi(:,1);
    p(:,2*i+2)=ptopi(:,2);
    xtopi(:,i+1)=xf(:,i)+kg*(c(i,:)-(H(i,:)*xf(:,i)));
end
hasil=strcat('nilai a0,i = ',num2str(xtopi(1,n)), 'dan a1,i = ',
num2str(xtopi(2,n)));

%plot nilai a0 dan a1
figure(1)
set(plot(xtopi(1,:)), 'color', 'black')
hold on
set(plot(xtopi(2,:)), 'color', 'red')
grid on
title('Estimasi Koefisien Polinomial');
xlabel('Waktu ke-');
ylabel('Nilai Koefisien');
legend('a0', 'a1');

%plot data, ARIMA, Filter Kalman ARIMA
figure(2)
for i=1:n
    bias(i)=xtopi(1,i+1)+xtopi(2,i+1)*a(i);
    kf(i)=bias(i)+b(i);
```

Lampiran 9 (Lanjutan)

```

    ape(i)=(abs(a(i)-kf(i))/a(i))*100;
    sape(1)=0;
    sape(i+1)=ape(i)+sape(i);
end
mape=sape(i+1)/n;
hasil2=strcat('Nilai MAPE= ',num2str(mape));
set(plot(a),'color','black')
hold on
set(plot(b),'color','blue')
hold on
set(plot(kf),'color','red')
grid on
title('Estimasi Tinggi Gelombang');
xlabel('Waktu ke-');
ylabel('Nilai Tinggi Gelombang');
legend('Data','ARIMA','Filter Kalman-ARIMA');
waktu=toc;
hasilwaktu=strcat('Waktu= ',num2str(waktu));

```

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Lampiran 10

Listing Program Filter Kalman $n = 3$ Tinggi Gelombang

```

clc
clear all
disp('          LISTING PROGRAM POLINOMIAL
DERAJAT DUA ATAU n= 3          ');
disp('          DATA TINGGI GELOMBANG          ');
disp('          Oleh:          ');
disp('          Rizky Budiati Wahyuningtyas          ');
disp('          1211100082          ');
disp('          ');

%Tahap inisialisasi
n=input('Masukkan banyak data (maksimal 62):');
Q=input('Q : ');%System noise strength
R=input('R : ');%Measurement noise strength
a00=input('a00 : ');
a10=input('a10 : ');
a20=input('a20 : ');
tic;
A=eye(3);%Nilai matrik dalam sistem
%Nilai matrik error kovarian sistem awal
p(:,1)=[1,0,0];
p(:,2)=[0,1,0];
p(:,3)=[0,0,1];
Qk=eye(3)*Q;%Nilai matrik error kovarian noise
Rk=R;%Nilai matrik error kovarian measurement
xtopi(:,1)=[a00 a10 a20]; %Nilai matrik xo
awal

%Data yang diperlukan
a=xlsread('tinggel.xlsx',1);%Data bmgg_tinggel
b=xlsread('tinggel.xlsx',2);%Data ARIMA_tinggel
c=xlsread('tinggel.xlsx',3);%Data bias_tinggel
d=xlsread('tinggel.xlsx',4);%Data (bmgg_tinggel)^
2

```


Lampiran 10 (Lanjutan)

```
H=[ones(62,1),a,d];
```

```
%Tahap Prediksi dan Koreksi
for i = 1:n
    %Prediksi
    xf(:,i)=A*xtopi(:,i);
    ptopi=[p(1,3*i-2) p(1,3*i-1) p(1,3*i);
           p(2,3*i-2) p(2,3*i-1) p(2,3*i); p(3,3*i-2)
           p(3,3*i-1) p(3,3*i)];
    pf=A*ptopi*A'+Qk;
    %Koreksi
    kg=pf*H(i,:)'*inv((H(i,:)*pf*H(i,:)' +Rk));%Kalan
    lman gain
    ptopi=pf-(kg*H(i,:)*pf);
    p(:,3*i+1)=ptopi(:,1);
    p(:,3*i+2)=ptopi(:,2);
    p(:,3*i+3)=ptopi(:,3);
    xtopi(:,i+1)=xf(:,i)+(kg*c(i,:)-(
    kg*H(i,:)*xf(:,i)));
end
hasil=strcat('nilai a0 =
',num2str(xtopi(1,n)), '    a1=    ',
num2str(xtopi(2,n)), '    dan
a2=',num2str(xtopi(3,n)));

%plot nilai a0,a1, dan a2
figure(1)
set(plot(xtopi(1,:)), 'color','black')
hold on
set(plot(xtopi(2,:)), 'color','red')
hold on
set(plot(xtopi(3,:)), 'color','blue')
grid on
title('Estimasi Koefisien Polinomial');
xlabel('Waktu ke-');
```

Lampiran 10 (Lanjutan)

```

ylabel('Nilai Koefisien');
legend('a0','a1','a2');

%plot data, ARIMA, dan Filter Kalman ARIMA
figure(2)
for i=1:n
    bias(i)=xtopi(1,i+1)+xtopi(2,i+1)*a(i)+xtop
    i(3,i+1)*d(i);
    kf(i)=bias(i)+b(i);
    ape(i)=(abs(a(i)-kf(i))/a(i))*100;
    sape(1)=0;
    sape(i+1)=ape(i)+sape(i);
end
mape=sape(i+1)/n;
hasil2=strcat('Nilai MAPE= ',num2str(mape));
set(plot(a),'color','black')
hold on
set(plot(b),'color','blue')
hold on
set(plot(kf),'color','red')
grid on
title('Estimasi Tinggi Gelombang');
xlabel('Waktu ke-');
ylabel('Nilai Tinggi Gelombang');
legend('Data','ARIMA','Filter Kalman-ARIMA');
waktu=toc;
hasilwaktu=strcat('Waktu= ',num2str(waktu));

```

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Lampiran 11

Listing Program Filter Kalman $n = 4$ Tinggi Gelombang

```

clc
clear all

disp('          LISTING PROGRAM POLINOMIAL
DERAJAT TIGA ATAU n= 4          ');
disp('          DATA TINGGI GELOMBANG          ');
disp('          Oleh:          ');
disp('          Rizky Budiati Wahyuningtyas          ');
disp('          1211100082          ');
disp(' ');

%Tahap inisialisasi
n=input('Masukkan banyak data (maksimal 62):');
Q=input('Q : ');%System noise strength
R=input('R : ');%Measurement noise strength
a00=input('a00 : ');
a10=input('a10 : ');
a20=input('a20 : ');
a30=input('a30 : ');
tic;
A=eye(4);%Nilai matrik dalam sistem
Qk=eye(4)*Q;%Nilai matrik error kovarian noise
Rk=R;%Nilai matrik error kovarian measurement
xtopi(:,1)=[a00 a10 a20 a30]; %Nilai matrik xo
awal
%Nilai matrik error kovarian sistem awal
p(:,1)=[1,0,0,0];
p(:,2)=[0,1,0,0];
p(:,3)=[0,0,1,0];
p(:,4)=[0,0,0,1];

%Data yang diperlukan
a=xlsread('tinggel.xlsx',1);%Data bmkng_tinggal
b=xlsread('tinggel.xlsx',2);%Data ARIMA_tinggal

```

Lampiran 11 (Lanjutan)

```

c=xlsread('tinggel.xlsx',3);%Data bias_tinggel
d=xlsread('tinggel.xlsx',4);%Data(bmkg_tinggel)^
2
e=xlsread('tinggel.xlsx',5);%Data(bmkg_tinggel)^
3
H=[ones(62,1),a,d,e];

% Tahap Prediksi dan Koreksi
for i = 1:n
    %Prediksi
    xf(:,i)=A*xtopi(:,i);
    ptopi=[p(1,4*i-3) p(1,4*i-2) p(1,4*i-1)
    p(1,4*i); p(2,4*i-3) p(2,4*i-2) p(2,4*i-1)
    p(2,4*i); p(3,4*i-3) p(3,4*i-2) p(3,4*i-1)
    p(3,4*i); p(4,4*i-3) p(4,4*i-2) p(4,4*i-1)
    p(4,4*i)];
    pf=A*ptopi*A'+Qk;
    %Koreksi
    kg=pf*H(i,:)'*inv(H(i,:)*pf*H(i,:)' +Rk);%Kalm
    an gain
    ptopi=pf-(kg*H(i,:)*pf);
    p(:,4*i+1)=ptopi(:,1);
    p(:,4*i+2)=ptopi(:,2);
    p(:,4*i+3)=ptopi(:,3);
    p(:,4*i+4)=ptopi(:,4);
    xtopi(:,1+i)=xf(:,i)+kg*(c(i,:)-
    (H(i,:)*xf(:,i)));
end
hasil=strcat('nilai a0 =
',num2str(xtopi(1,n)),' a1= ',
num2str(xtopi(2,n)),
'a2=',num2str(xtopi(3,n)),'dan
a3=',num2str(xtopi(4,n)));

%plot nilai a0,a1,a2 dan a3

```

Lampiran 11 (Lanjutan)

```

figure(1)
set(plot(xtopi(1,:)), 'color', 'black')
hold on
set(plot(xtopi(2,:)), 'color', 'red')
hold on
set(plot(xtopi(3,:)), 'color', 'blue')
hold on
set(plot(xtopi(4,:)), 'color', 'green')
grid on
title('Estimasi Koefisien Polinomial');
xlabel('Waktu ke-');
ylabel('Nilai Koefisien');
legend('a0', 'a1', 'a2', 'a3');

%plot data, ARIMA, Filter Kalman
figure(2)
for i=1:n
    bias(i)=xtopi(1,i+1)+xtopi(2,i+1)*a(i)+xtopi(3,i+1)*d(i)+xtopi(4,i+1)*e(i);
    kf(i)=bias(i)+b(i);
    ape(i)=(abs(a(i)-kf(i))/a(i))*100;
    sape(1)=0;
    sape(i+1)=ape(i)+sape(i);
end
mape=sape(i+1)/n;
hasil2=strcat('Nilai MAPE= ', num2str(mape));
set(plot(a), 'color', 'black')
hold on
set(plot(b), 'color', 'blue')
hold on
set(plot(kf), 'color', 'red')
grid on
title('Estimasi Tinggi Gelombang');
xlabel('Waktu ke-');
ylabel('Nilai Tinggi Gelombang');
legend('Data', 'ARIMA', 'Filter Kalman-ARIMA');

```

Lampiran 11 (Lanjutan)

```
waktu=toc;  
hasilwaktu=strcat('Waktu= ',num2str(waktu));
```

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wijaya, F. (2012). Perubahan Wilayah Laut Indonesia. {<http://socialknowledgepublish.blogspot.com/2012/08/perubahan-wilayah-laut-indonesia.html>}. **diakses pada tanggal 21 September 2014.**
- [2] Diery, V. (2010). Dunia Kapal {<http://marvincadeta.blogspot.com/2010/03/duniakapal.html>}. **diakses pada tanggal 21 September 2014.**
- [3] Kajian Analisis Trend Kecelakaan Transportasi Laut Tahun 2003 – 2008. Jakarta. {http://kemhubri.dephub.go.id/knkt/ntsc_maritime/Laut/Publications/LaporanAnalisisTrendKecelakaanLau2003-2008.pdf}. **diakses pada tanggal 21 September 2014.**
- [4] Junaedi. (2014). Kapal Pecah di Laut, 27 Penumpang Bertahan dengan Jeriken dan Bangkai Kapal. {<http://regional.kompas.com/read/2014/09/16/17045771/Kapal.Pecah.di.Laut.27.Penumpang.Bertahan.dengan.Jeriken.dan.Bangkai.Kapal.html>}. **diakses pada tanggal 21 September 2014.**
- [5] Sonia, U.F. (2014). Kapal Tenggelam di Maluku Utara 14 tewas. {<http://www.tempo.co/read/news/2014/09/14/058606894/Kapal-Tenggelam-di-Maluku-Utara-14-Tewas.html>}. **diakses pada tanggal 21 September 2014.**
- [6] Kurniawan, T.(2014). *Penerapan Metode Filter Kalman dalam Perbaikan Hasil Prediksi Cuaca dengan Metode ARIMA*, Tugas Akhir Jurusan Matematika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

- [7] Data Kecepatan Angin dan Tinggi Gelombang Perairan Surabaya – Banjarmasin tahun 2014.
diambil tanggal 10 Oktober 2014 dari BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) Stasiun Meteorologi kelas II Maritim Perak II Surabaya.
- [8] Makridakis, McGee, dan Wheelright, W. (1999). *Metode dan Aplikasi Peramalan*. Edisi kedua. Terj. Andriyanto, U.S. Bina Rupa Aksara: Jakarta.
- [9] Wei, W.S (2006). *Time Series Analysis Univariate and Multivariate Methods*. Pearson Education Inc. : Amerika.
- [10] Aswi dan Sukarna (2006). *Analisis Deret Waktu : Teori dan Aplikasi*. Andira publisher: Makassar.
- [11] Welch, G. Dan Bishop, G. (2001). *An Introduction to the Kalman Filter*. University of North Carolina:Chapel Hill:Amerika.
- [12] Galanis, G., Louka P., Katsafados, P., Kallos, G., dan Phytharoulis, I. (2006). *Application of Kalman Filter Based On Non-Linear Function to Numerical Weather Prediction*. Copernicus GmbH:Yunani.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya pada tanggal 10 September 1994. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri Petemon XII/360 Surabaya, SMP Negeri 4 Surabaya, dan SMA Negeri 1 Surabaya. Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan S1 di Jurusan Matematika FMIPA ITS melalui jalur SNMPTN tulis pada tahun 2011 dan terdaftar sebagai mahasiswa ITS dengan NRP 1211 100 082. Di Jurusan

Matematika, penulis mengambil bidang minat Riset Operasi dan Pengolahan Data atau Matematika Terapan.

Penulis aktif di beberapa organisasi intra kampus. Himpunan Mahasiswa Matematika (HIMATIKA) sebagai *staff* Departemen Hubungan Luar tahun 2012/2013 dan Departemen Hubungan Luar pada tahun 2013/2014. Anggota Koperasi Mahasiswa Dr. Angka ITS sejak tahun 2011 hingga sekarang.

Penulis juga aktif dalam kepanitian yaitu sebagai sie acara OMITS 2013 dan OMITS 2014. Selain itu penulis juga menjadi panitia dalam LKMM Pra TD FMIPA ITS 2012, INTERN (*Integralistic Generation of FMIPA ITS*), dan berbagai kegiatan HIMATIKA ITS. Berbagai pelatihan pun pernah diikuti oleh penulis, antara lain ESQ, Pra-TD FMIPA ITS, dan beberapa pelatihan lainnya. Penulis juga sering mengikuti beberapa seminar, antara lain seminar Bioteknologi, Tedx ITS, dan seminar lainnya.

Apabila ingin memberikan saran, kritik dan pertanyaan mengenai Tugas Akhir ini, dapat disampaikan melalui *e-mail* rizkybudiati@gmail.com.